



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DISUSUN OLEH:

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 101115 000 001 03

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 101115 000 001 47

DOSEN PEMBIMBING:

RIDHO BAYUAJI, ST., MT., Ph.D
NIP. 19730710 1998021 002

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

**PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN
MENENGAH (SRPMM)**

DISUSUN OLEH:

**FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 101115 000 001 03**

**BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 101115 000 001 47**

DOSEN PEMBIMBING:

**RIDHO BAYUAJI ST., MT., Ph.D
NIP. 19730710 1998021 002**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT APPLIED - RC 145501

STRUCTURE REDESIGN OF 4 FLOORS SHOPHOUSE USING INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM METHOD

WRITTEN BY:

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 101115 000 001 03

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 101115 000 001 47

CONSELLOR LECTURE:

RIDHO BAYUAJI ST., MT., Ph.D
NIP. 19730710 1998021 002

DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING PROGRAM
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATIONAL FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya Pada
Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Departemen Infrastruktur Teknik Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Oleh:

Surabaya, 26 Februari 2018

Disusun oleh :

Mahasiswa I



Fariha Dwi Novayanti
NRP. 10111500000103

Mahasiswa II



Bintang Ayu Artyasari
NRP. 10111500000147



Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph. D
NIP. 19730710 199802 1 002

01 AUG 2018



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
041523/ITZ.VI.8.1/PP.05.02/2018

Tanggal : 12 Juli 2018

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Ulang Struktur Bangunan Ruko 4 Lantai Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)		
Nama Mahasiswa	Fariha Dwi Novayanti	NRP	10111500000103
Nama Mahasiswa	Bintang Ayu Artayasa	NRP	10111500000147
Dosen Pembimbing 1	Ridho Bayu Aji, ST. MT. PhD.	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
1. Gambar balok disederhanakan sesuai perhitungan 2. Tabel melintang kolom dan 3. Perhitungan torsi dicek lagi (balokan lantai & geser) - perhitungan portal - " " per pile	 Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc. PhD NIP 196307261989031003
1. Tocat tugas akhir (pendapat) : atskah referensi rumusan masalah (portal) 4 geser → 240 (geser) standar pembebanan → BEI 7.1 → atskah 5 - perhitungan portal → Pmin portal → balok - balokan geser balok dicek lagi → 240 dicek lagi - Pmin (kolom, torsi)	Ridho Bayu Aji, ST. MT. PhD. NIP 197307101998021002
1. Uraian perhitungan portal 2. Tabel tulis sumber 3. Hal 266 → typo 4. Keterangan elevasi 5. Gambar : No 16 (kecilurukan lantai), hal 18 (halaman tengah) ulayan lantai perisap & pangsang pangsapan	Affif Navir Revani, ST. MT NIP 198409192015041001 Ir. Sungkono, CES NIP 195911301986011001

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
 Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. EngSc. PhD NIP 196307261989031003	 Ridho Bayu Aji, ST. MT. PhD. NIP 197307101998021002	 Affif Navir Revani, ST. MT NIP 198409192015041001	 Ir. Sungkono, CES NIP 195911301986011001

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Ridho Bayu Aji, ST. MT. PhD. NIP 197307101998021002	- NIP -




KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Fariha Dwi N. 2 Bintang Ayu A.
NRP : 1 101115 00000 103. 2 101115 00000 147
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Ridho Bayuaji ST., MT., Ph.D.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
		- Tul. plat ditambah paku balok.				
		- Perhitungan manual u/ geser				
		- Cek momen dg perhitungan manual.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	8 Juni 2018	- Tulangan tangga, detail tulangan tangga, lekukan tulangan (lihat referensi, momen cross).				
		- Tulangan pelat, detail tulangan pelat, susunan dg bindi pelat.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Perhitungan tangga manual.				
		- Balok : Cek gaya dalam antara manual dan sap, geser, dan momen (bandingkan gaya dlm grafik dg manual gravitasi).		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Kolom : (Cek gaya dlm kolom dg manual dan sap). Susunai dg yg paling besar.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- alasan faktor reduksi kolom dan balok berbeda.				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Fariha Dwi N. 2 Bintang Ayu A.
 NRP : 1 10111500000103. 2 10111500000147.
 Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Pidho Bayuaji, ST., MT., Ph.D.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
6	31 Mei 2018	- Tepi gambar harus ada garis.				
		- Notasi gambar diperbaiki				
		- Daftar gambar		B	C	K
		- Perhitungan diperbaiki & disiapkan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Tangga (bidang momen):				
		- gambar penulangan & perhitungan torsi smp.		B	C	K
		- Gambar dimensi & dimensi perhitungan.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Permodelan elemen struktur. Wajib menperbahar gaya balok yg terjadi		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	06 Juni 18'	- Gambar pelat lantai dibetulkan lagi				
		- Detail potongan untuk kolom.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Detail pada HSK (dekina)				
		- Gambar dan detail pondasi diper- baiki		B	C	K
		- Perhitungan pelat ditambahkan paling nskn.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal




KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Fariha Dwi N. 2 Bintang Ayu A.
NRP : 1 10111500000103 2 10111500000147
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Rido Bayuaji, ST., MT., Ph.D.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
4	Jum'at, 13 April '18	• Flowchart perhitungan.				
		• Mengapa asumsi pelat terjepit penuh ?				
		• Uraikan output : gambar		B	C	K
		• Gambar standar		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Rabu, 30 Mei '18	• Daftar isi Gambar (Auto cad).				
		• Lengkapi semua perhitungan dan gambar.				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diploimasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Fariha Dwi N. 2 Bintang Ayu A.
NRP : 1 1041490000103. 2 1041450000147.
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Ridho Bayuaji, ST, MT, Ph.D

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	Senin, 8 Jan 2018	- Menambahkan sub-bab yg membahas mendetail tentang salah satu struktur				
		- Perbaiki Pendahuluan:		B	C	K
		Latar belakang, rumusan masalah, dst.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Perbaiki Tinjauan Pustaka				
2	Senin, 26 Feb 18	- Siteplan		B	C	K
		- Unit disesuaikan tipenya		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Atap dirubah plat beton				
		- Waktu pengerjaan (Time Schedule)				
		- MK, Pustaka, Pustaka (8 skor)		B	C	K
		- $G/t = \leq 50\% \rightarrow$ (ubah)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Mengapa waktu TA?				
		- Time Schedule detail				
		- Rencana gambar struktur		B	C	K
		- Kerangka Laporan Proyek Akhir		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Selasa, 6-3-18	- Asistensi gambar yg telah selesai Laporan pertemuannya		B	C	K
		- Gambar Peta p. Nanti.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Disesuaikan				

Ket.
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Fariha Dwi Navayanti 2 Bintang Ayu A.
NRP : 1 10111500000103 2 10111500000147
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Ridho Bayuaji ST., MT., Ph.D.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
9	28 Juni 2018	- Koreksi penulangan pelat, dibuat menerus				
		- Amati plat yg diapit plat lain di kanan-kiri / atas-bawah.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Tangga: apabila $f > f_{max}$ maka, d (tebal plat) diperbesar.				
		- Sambungan pelat ke balok bordes		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Tul. tangga ditambah		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Dari literatur gambar				
		- Menambahkan ket. gambar.				
		- Cek tul. torsi (Dig. terlalu besar) ^{50%}		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Pada gambar portal, dimensi balok ditaruh diluar saja.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Proporsi ket. pada gambar harus seimbang		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal

**PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN RUKO 4
LANTAI DENGAN SISTEM STRUKTUR RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

Nama Mahasiswa : Fariha Dwi Novayanti
NRP : 10111500000103

Nama Mahasiswa : Bintang Ayu Artyasari
NRP : 10111500000147

Jurusan : Diploma III Departemen Teknik
Infrastruktur Sipil FV – ITS

Dosen Pembimbing I : Ridho Bayuaji ST., MT., Ph.D
NIP : 19730710 199802 1 002

ABSTRAK

Penyusunan tugas akhir berjudul Perencanaan Struktur Bangunan Ruko 4 Lantai Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) menggunakan gedung ruko yang berlokasi di Kota Sumenep. Proyek ini didesain awal 3 lantai, namun untuk keperluan tugas akhir, dihitung kembali dengan data tanah Kota Sumenep dan diperoleh kategori desain seismik C, sehingga digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan catatan jumlah lantai diubah menjadi 4.

Metodologi pengerjaan tugas akhir diawali dengan pengumpulan data, gambar arsitektur dan struktur, data tanah, serta literatur yang digunakan. Kemudian menentukan sistem struktur, menghitung preliminary design, dan dilakukan analisis, diantaranya analisis pembebanan, struktur sekunder primer. Selanjutnya cek persyaratan, apabila tidak memenuhi, maka menentukan kembali preliminary design.

Berdasarkan perhitungan terdapat 2 jenis pelat (pelat lantai dan atap) dengan ketebalan 12 cm dan menggunakan Ø8 dan

Ø10. Pelat tangga dan bordes menggunakan diameter D13(arah X) dan D16 (arah Y). Sloof menggunakan tulangan puntir diameter D13, tulangan lentur diameter D19, dan tulangan geser diameter Ø12. Balok induk terdapat 3 tipe, menggunakan tulangan puntir diameter D13, tulangan lentur diameter D22, dan tulangan geser diameter Ø12. Terdapat 2 tipe balok anak, menggunakan tulangan puntir diameter D13, tulangan lentur diameter D16, dan tulangan geser diameter Ø10. Kolom menggunakan tulangan lentur diameter D19 dan tulangan geser diameter Ø10. Pondasi menggunakan tiang pancang berdiameter 45 cm dengan kedalaman 27,5 m berjumlah 42 buah yang berisikan 2 buah per kolomnya. Terdapat 1 tipe pile cap (2,4 m x 1,2 m x 0,5 m) menggunakan tulangan lentur D19 (arah X dan Y).

Kata kunci : Bangunan gedung, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), statik ekuivalen.

STRUCTURE REDESIGN OF 4 FLOORS SHOPHOUSE USING INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM METHOD

Name : Fariha Dwi Novayanti
NRP : 10111500000103

Name : Bintang Ayu Artyasari
NRP : 10111500000147

Department : *Diploma III Civil Infrastructure.
Engineering Department FV – ITS*

Concellor Lecturer : Ridho Bayuaji ST., MT., Ph.D
NIP : 19730710 199802 1 002

ABSTRACT

Preparation of the final project titled Structure Redesign of 4 Floors Shophouse Using Intermediate Moment Resisting Frame System Method is using the shophouse located in Sumenep. The project was designed early 3rd floor. But for the final project, recalculated with ground data acquired Sumenep and seismic design category C, so that the structure of the system used Intermediate Moment Frame System Method (SRPMM) with a record number of floors was changed to 4.

Methodology this final project begins with data collection, image architecture and structure, soil data, as well as the literature used. Then determine the structure of the system, calculate the preliminary design and analysis, including the analysis of loading, secondary structures and primary structures. Once that is done check the requirements, if it does not comply, then determine the preliminary design back.

Based on the calculation results; There are 2 types of plate (plate floor and roof) with a thickness of 12 cm and using Ø8 and Ø10. At the plate stairs and landing using diameter D13

(direction X) and D16 (direction Y). Sloop using torsional reinforcement diameter D13, D19 diameter flexural and shear reinforcement diameter Ø12. The master beam, there are 3 types, use torsional reinforcement diameter D13, D22 diameter flexural and shear reinforcement diameter Ø12. There are 2 types of secondary beam, use torsional reinforcement diameter D13, D16 diameter flexural and shear reinforcement diameter Ø10. Column using a D19 diameter flexural and shear reinforcement diameter Ø10. The foundation uses a pile of 45 cm diameter with a depth of 27.5 m, amounting to 42 pieces containing 2 pieces per column. There is one type of pile cap (2.4 m x 1.2 m x 0.5 m) using bending reinforcement D19 (X and Y direction).

Keywords : Building structure, Intermediate Moment Frame System Method, Equivalent static.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala rahmat dan hidayah-Nya kami dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir Terapan dengan judul :

“PERENCANAAN ULANG STRUKTUR BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)”

Tersusunnya Laporan Tugas Akhir Terapan ini tidak terlepas juga dari berbagai pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, serta arahan kepada kami sebagai penyusun. Untuk itu kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, saudara – saudara tercinta, sebagai semangat, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materil, terutama doa.
2. Dr. Machsus Fawzi, S.T., M.T., selaku ketua program studi Teknik Infrastruktur Sipil ITS.
3. Bapak Ridho Bayuaji ST, MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing Laporan Tugas Akhir Terapan yang telah banyak memberi bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir.
4. Teman – teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu - persatu, terima kasih atas bantuan dan saran selama proses pengerjaan Laporan Tugas Akhir ini.

Kami sebagai penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir Terapan ini tidaklah sempurna. Maka dari itu, kami mengharapkana adanya kritik serta saran yang membangun demi sempurnanya Laporan Tugas Akhir Terapan ini.

Surabaya, Juli 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Data Perencanaan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Umum.....	5
2.2 Dasar Peraturan Penulisan Tugas Akhir Terapan.....	5
2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).....	5
2.3.1 Detail Tulangan.....	6
2.3.2 Kekuatan Geser.....	6
2.3.3 Balok.....	7
2.3.4 Kolom.....	8
2.3.5 Pelat.....	9
2.3.6 Panjang Penyaluran dan Sambungan Tulangan.....	12
BAB 3 METODOLOGI PELAKSANAAN.....	13
3.1 Pengumpulan Data.....	13
3.2 <i>Preliminary</i> Desain.....	13
3.3 Pembebanan.....	13
3.3.1 Beban Mati.....	13
3.3.2 Beban Hidup.....	14
3.3.3 Beban Angin.....	14

3.3.4	Beban Hujan	14
3.3.5	Beban Gempa	15
3.4	Kombinasi Pembebanan	21
3.5	Analisa Gaya Dalam (N, D, dan M)	22
3.5.1	Analisa Gaya Dalam Pelat	22
3.5.2	Analisa Gaya Dalam Balok	22
3.5.3	Analisa Gaya Dalam Kolom	22
3.6	Perhitungan Struktur	23
3.7	Cek Syarat	24
3.8	Gambar Perencanaan	24
3.9	Perhitungan Volume Pembesian	25
3.10	Metode Pelaksanaan	25
3.11	Flow Chart	26
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Penentuan Sistem Struktur	39
4.2	Preliminary Design	44
4.2.1	Perencanaan Dimensi Balok	44
4.2.2	Perencanaan Dimensi Kolom	47
4.2.3	Perencanaan Dimensi Sloof	50
4.2.4	Perencanaan Dimensi Pelat	52
4.2.5	Perencanaan Dimensi Tangga	57
4.3	Pembebanan	59
4.3.1	Pembebanan Pelat	59
4.3.2	Beban Dinding	61
4.3.3	Beban Angin	62
4.3.4	Beban Hujan	63
4.3.5	Pembebanan Tangga dan Bordes	63
4.3.6	Pembebanan Gempa	64
4.4	Perhitungan Struktur Sekunder	72
4.4.1	Pelat Lantai	72
4.4.2	A Pelat Atap	81
4.4.3	Pelat Tangga dan Bordes	89
4.5	Perhitungan Struktur Primer	104
4.5.1	Desain Struktur Balok	104
4.5.1.1	Desain Struktur Balok Induk (B1)	104

4.5.1.2	Desain Struktur Balok Anak.....	141
4.5.1.3	Desain Struktur Balok Bordes	175
4.5.1.4	Desain Struktur Sloof	210
4.5.2	Desain Struktur Kolom.....	245
4.5.3	Desain Struktur Pondasi	277
BAB 5 PENUTUP.....		301
5.1	Kesimpulan.....	301
5.2	Saran.....	304
DAFTAR PUSTAKA.....		307
LAMPIRAN.....		309
BIODATA PENULIS 1.....		314
UCAPAN TERIMA KASIH PENULIS.....		314
BIODATA PENULIS 2.....		316
UCAPAN TERIMA KASIH PENULIS.....		316

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Desain Rangka Momen Menengah.....	9
Gambar 2. Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik (S_s) pada Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam Waktu 50 Tahun	17
Gambar 3. Peta Respons spektra Percepatan 1,0 Detik (S_1) pada Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam Waktu 50 Tahun	18
Gambar 4. <i>Flow Chart</i> Metodologi	27
Gambar 5. <i>Flow Chart</i> Perhitungan Penulangan Lentur Balok..	28
Gambar 6. <i>Flow Chart</i> Perhitungan Penulangan Geser Balok	29
Gambar 7. <i>Flow Chart</i> Perhitungan Penulangan Torsi Balok	31
Gambar 8. <i>Flow Chart</i> Subroutine Perhitungan Penulangan Torsi Balok	31
Gambar 9. <i>Flow Chart</i> Perhitungan Penulangan Lentur Sloof....	32
Gambar 10. <i>Flow Chart</i> Perhitungan Penulangan Geser Sloof...	33
Gambar 11. <i>Flow Chart</i> Perhitungan Panjang Penyaluran Balok dan Sloof.....	34
Gambar 12. <i>Flow Chart</i> Perhitungan Penulangan Kolom.....	35
Gambar 13. <i>Flow Chart</i> Perhitungan Penulangan Pelat	36
Gambar 14. <i>Flow Chart</i> Perhitungan Penulangan Pondasi	37
Gambar 15. <i>Flow Chart</i> Metode Pelaksanaan Balok dan Pelat...	38

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah bila Lendutan Tidak Dihitung	10
Tabel 2. Lendutan Izin Maksimum yang Dihitung	10
Tabel 3. Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior	11
Tabel 4. Kelas Situs Tanah.....	15
Tabel 5. Koefisien Situs (F_a).....	18
Tabel 6. Koefisien Situs (F_v)	19
Tabel 7. Kategori Risiko	20
Tabel 8. Faktor Keutamaan Gempa.....	21
Tabel 9. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	21
Tabel 10. Data Tanah	39
Tabel 11. Kategori Risiko.....	40
Tabel 12. Nilai S_s dan S_1	40
Tabel 13. Koefisien Situs (F_a)	40
Tabel 14. Koefisien Situs (F_v)	41
Tabel 15. Nilai S_{DS}	42
Tabel 16. Nilai S_{D1}	42
Tabel 17. BrosurKomponen Struktur Dinding	61
Tabel 18. Distribusi Vertikal Gaya Gempa	68
Tabel 19. Pusat Massa, Pusat Kekakuan, dan Eksentrisitas	69
Tabel 20. Gaya Gempa per Kolom Lantai 1.....	69
Tabel 21. Gaya Gempa per Kolom Lantai 2.....	70
Tabel 22. Gaya Gempa per Kolom Lantai 3.....	71
Tabel 23. Gaya Gempa per Kolom Lantai 4.....	72
Tabel 24. Kebutuhan Pondasi Tiang Pancang Setiap Joint	280
Tabel 25. Tabel Tulangan Pelat.....	302
Tabel 26. Tabel Tulangan Tangga dan Bordes.....	303
Tabel 27. Tabel Tulangan Balok	304
Tabel 28. Tabel Tulangan Kolom.....	304

DAFTAR NOTASI

A_{cp}	=	Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm^2)
A_g	=	Luas bruto penampang (mm^2)
A_{oh}	=	Luas daerah yang dibatasi oleh garis pusat tulangan sengkang torsi terluar (mm^2)
A_s	=	Luas tulangan tarik non prategang (mm^2)
A_{sc}	=	Luas tulangan tulangan longitudinal / lentur rencana yang diperhitungkan dalam memikul momen lentur (mm^2)
A'_s	=	Luas tulangan tekan non prategang (mm^2)
b	=	Lebar daerah tekan komponen struktur (mm)
b_w	=	Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm)
C'_c	=	Gaya pada tulangan tekan
C'_s	=	Gaya tekan pada beton
d	=	Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
d'	=	Jarak dari serat tekan terluar ke tulangan tekan (mm)
d_b	=	Diameter nominal batang tulangan, kawat atau strand prategang (mm)
D	=	Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati
E_c	=	Modulus elastisitas beton (Mpa)
E	=	Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang terkait
E_x	=	Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa arah X
E_y	=	Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa arah Y
I_b	=	Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

I_p	=	Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat
f'_c	=	Kuat tekan beton yang disyaratkan (Mpa)
f_y	=	Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non pra-tegang (Mpa)
h	=	Tinggi total dari penampang
h_n	=	Bentang bersih kolom
k	=	Faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan
l	=	Panjang bentang balok atau pelat satu arah
l_n	=	Bentang bersih balok
l_o	=	Panjang yang diukur dari muka joint sepanjang sumbu komponen struktur
l_u	=	Panjang tak tertumpu komponen struktur tekan
M_u	=	Momen terfaktor pada penampang (Nmm)
M_{nb}	=	Kekuatan momen nominal persatuan jarak sepanjang suatu garis leleh
M_{nc}	=	Kekuatan momen nominal untuk balok yang tak mempunyai tulangan tekan (Nmm)
M_n	=	Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja (Nmm)
M_{nl}	=	Momen kapasitas balok penampang kiri (Nmm)
M_{nr}	=	Momen kapasitas balok penampang kanan (Nmm)
M_{nt}	=	Momen kapasitas balok penampang atas (Nmm)
M_1	=	Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada Komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melengkung dengan kelengkungan tunggal, negatif bila struktur melengkung dengan kelengkungan ganda (Nmm)
M_2	=	Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen tekan; selalu bernilai positif (Nmm)
N	=	Nilai Test Penetrasi Standar pada suatu lapisan tanah, gaya normal secara umum
N_u	=	Beban aksial terfaktor
P_{cp}	=	Keliling luar penampang beton (mm)

P_h	=	Keliling dari tulangan sengkang torsi
P_u	=	Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (N)
r	=	Radius girasi penampang komponen struktur tekan
R	=	Faktor reduksi gempa, rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh gempa rencana pada struktur gedung elastik penuh dan beban gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana pada struktur gedung daktail, bergantung pada faktor daktilitas struktur gedung tersebut, faktor reduksi gempa representatif struktu gedung tidak beraturan
S	=	Spasi tulangan geser atau torsi kearah yang diberikan
S_n	=	Kekuatan lentur, geser, atau aksial nominal sambungan
s_o	=	Spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang l_o mm
T	=	Waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik yang menentukan besarnya faktor respons gempa struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam spektrum respons gempa rencana
T_n	=	Kuat momen torsi nominal (Nmm)
T_u	=	Momen torsi terfaktor pada penampang Nmm)
V_c	=	Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
V_n	=	Pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan nominal untuk strukutr gedung dengan tingkatan daktilitas umum, pengaruh gempa rencana pada saat didalam struktur terjadi pelelehan pertama yang sudah direduksi dengan faktor kuat lebih beban dan bahan f_l
V_s	=	Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)
V_u	=	Gaya geser terfaktor pada penampang (N)

W_u	=	Beban terfaktor per satuan panjang balok atau pelat satu arah
α	=	Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasiseacara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok
α_m	=	Nilai rata-rata α untuk semua balok tepi dari suatu panel
β	=	Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
β_d	=	Rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum
β_n	=	Faktor untuk memperhitungkan pengaruh angkur pengikat pada kuat tekan efektif zona nodal
ρ	=	Rasio tulangan tarik
ρ'	=	Rasio tulangan tekan
ρ_b	=	Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang
ρ_{max}	=	Rasio tulangan tarik maksimum
ρ_{min}	=	Rasio tulangan tarik minimum
μ	=	Faktor daktilitas struktur gedung, rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadi pelelehan pertama
Ψ	=	Faktor kekangan ujung – ujung kolom

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bangunan gedung merupakan sebuah proyek konstruksi yang merupakan suatu rangkaian kegiatan yang berkaitan untuk mencapai tujuan (bangunan/konstruksi) dalam bahasan waktu, biaya, dan mutu dari proyek tersebut. Dalam menentukan pola bangunan dibutuhkan struktur bangunan yang kuat dan mampu diterapkan sebaik mungkin karena hal ini menjamin kekokohan dan umur sebuah bangunan.

Perencanaan struktur bertujuan untuk menghasilkan suatu struktur yang stabil, kuat dan awet. Dalam perencanaan gedung bertingkat harus direncanakan dan didesain dengan baik agar bangunan tersebut dapat aman terhadap bahaya gempa. Agar mampu menahan beban gempa, suatu bangunan harus di desain menurut Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726 – 2012.

Dalam tugas akhir ini, bangunan yang akan direncanakan ulang perhitungan strukturnya adalah bangunan ruko yang berfungsi sebagai tempat perbelanjaan. Bangunan ini tersusun atas 3 lantai. Akan tetapi untuk keperluan Tugas Akhir Program DIII Teknik Sipil, direncanakan penambahan lantai sehingga output akhir adalah 4 lantai. Perencanaan dari lantai 1 sampai dengan lantai 4 dan struktur atap menggunakan *deck* beton.

Dalam menentukan sistem struktur yang akan digunakan dalam perencanaan gedung ini, kami menganalisis KDS (Kategori Desain Seismik) terlebih dahulu untuk dapat menentukan apakah data tanah Kota Sumenep yang kami pakai sesuai dengan syarat KDS (kategori C untuk SRPMM) atau tidak. Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwasanya tanah di Kota Sumenep termasuk tanah dengan kategori C dan perhitungan sistem strukturnya menggunakan SRPMM.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam judul Tugas Akhir Terapan “Perencanaan Ulang Struktur Bangunan Ruko 4 Lantai dengan Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)”. Permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan *preliminary design* sesuai dengan jenis tanah pada bangunan yang akan dibangun?
2. Bagaimana menganalisa gaya dalam yang dihasilkan akibat beban yang diberikan pada struktur bangunan?
3. Bagaimana menghitung komponen struktur atas (balok, kolom, dan pelat) dan struktur bawah (pondasi)?
4. Bagaimana menentukan penulangan pada komponen struktur?
5. Bagaimana membuat gambar rencana dari hasil perhitungan struktur ke dalam gambar rencana struktur?

1.3 Batasan Masalah

Batasan yang akan dibahas pada Tugas Akhir Terapan “Perencanaan Ulang Struktur Bangunan Ruko 4 Lantai dengan Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)” adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan ini menggunakan data tanah daerah Sumenep yang didapat dari Laboratorium Uji Tanah ITS Manyar.
2. Perhitungan gempa menggunakan metode analisis Statik Ekuivalen.
3. Perencanaan ini hanya membahas struktural atas (balok, kolom, plat) dan bawah (pondasi) bangunan, tidak membahas analisa biaya, manajemen konstruksi, maupun segi arsitektural.
4. Perencanaan ini tidak membahas tentang sistem utilitas bangunan, pembuangan saluran air bersih, instalasi AC, finishing, dan lain-lain
5. Perencanaan struktur atap menggunakan dak plat beton.

1.4 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir Terapan “Perencanaan Ulang Struktur Bangunan Ruko 4 Lantai dengan Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)” adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui cara merencanakan *preliminary design* yang sesuai dengan jenis tanah pada bangunan yang akan dibangun.
2. Untuk mengetahui analisa gaya dalam yang dihasilkan akibat beban yang diberikan pada struktur bangunan.
3. Untuk mengetahui cara menentukan tulangan pada komponen struktur.
4. Untuk menuangkan hasil perhitungan struktur kedalam gambar rencana struktur.

1.5 Manfaat

Manfaat yang didapat dari Tugas Akhir Terapan “Perencanaan Ulang Struktur Bangunan Ruko 4 Lantai dengan Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)” adalah sebagai berikut:

1. Mahasiswa dapat mengetahui cara merencanakan *preliminary design* yang sesuai dengan jenis tanah pada bangunan yang akan dibangun
2. Mahasiswa dapat mengetahui analisa gaya dalam yang dihasilkan akibat beban yang diberikan pada struktur bangunan.
3. Mahasiswa dapat mengetahui cara menentukan tulangan pada komponen struktur.
4. Mahasiswa dapat menuangkan hasil perhitungan struktur kedalam gambar rencana struktur.

1.6 Data Perencanaan

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| - Nama bangunan | : Bangunan Ruko 4 Lantai |
| - Fungsi bangunan | : Rumah toko |
| - Jumlah lantai | : 4 lantai |
| - Luas bangunan | : $\pm 360 \text{ m}^2$ |
| - Tinggi bangunan | : $\pm 13,96 \text{ m}$ |

- Konstruksi atap : Rangka Atap Deck Beton
- Material konstruksi : Beton bertulang
- Mutu beton : 30 MPa
- Mutu Tulangan Lentur (f_y) : 400 MPa
- Mutu Tulangan Geser (f_{ys}) : 240 MPa

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Pada bab ini akan dibahas lebih lanjut mengenai pembangunan ruko 4 lantai yang terletak di daerah Sumenep. Pembangunan yang akan dilakukan pada struktur bangunan ruko ini diantaranya adalah, sebagai berikut:

1. Jumlah lantai pada pembangunan ruko ini sebanyak 4 lantai.
2. Pembangunan ini menggunakan pondasi tiang pancang dengan jenis spun pile (tiang pancang bulat).
3. Metode yang digunakan dalam pembangunan ini adalah metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang telah disesuaikan dengan data tanah hasil pengujian SPT.

2.2 Dasar Peraturan Penulisan Tugas Akhir Terapan

Adapun peraturan yang akan dipakai sebagai panduan pengerjaan Tugas Akhir Terapan ini adalah, sebagai berikut :

1. PBI-1971 (Peraturan Beton Bertulang Indonesia).
2. Peta Hazard Gempa Indonesia 2010.
3. SNI 1726-2012 (Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Struktur Lain).
4. SNI 1727-2013 (Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain).
5. SNI 2847-2013 (Persyaratan Beton Struktur untuk Bangunan Gedung)
6. PPIUG-1983 (Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung)

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah jenis struktur yang dipakai untuk memikul gaya-gaya di daerah dengan resiko gempa menengah (nilai gempa 3 dan 4). Selain itu, metode ini juga harus memenuhi persyaratan yang telah dicantumkan dalam SNI 1726-2013 (Tata Cara Ketahanan

Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Struktur Lain) serta SNI 2847-2013 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung).

Pada SNI 2847-2013 pasal 21.3 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) telah dijelaskan tentang peraturan dan persyaratan rangka momen menengah. Dalam persyaratan ini berlaku untuk sistem rangka pemikul momen menengah yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa.

2.3.1 Detail Tulangan

Detail tulangan pada komponen struktur rangka harus memenuhi tulangan balok apabila gaya tekan aksial terfaktor, P_u , untuk komponen struktur yang tidak melebihi $A_g f_c' / 10$. Apabila P_u lebih besar, detail tulangan rangka harus memenuhi tulangan kolom.

Apabila sistem slab dua arah tanpa balok membentuk sebagian dari sistem penahan gaya gempa, detail tulangan pada sebarang bentang yang menahan momen yang diakibatkan oleh E harus memenuhi tulangan slab dua arah tanpa balok.

Untuk kekuatan geser, balok yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari (a) dan (b), yaitu:

- a. Jumlah geser yang terkait dengan pengembangan M_n balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
- b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E diasumsikan sebesar dua kali yang ditetapkan oleh tata cara bangunan umum yang diadopsi secara legal untuk desain tahan gempa.

2.3.2 Kekuatan Geser

Untuk kekuatan geser kolom, kolom yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari (a) dan (b):

- a. Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.
- b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E ditingkatkan oleh Ω_0 .

2.3.3 Balok

Balok merupakan elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser. Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):

- a. $d/4$;
- b. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
- c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang;
- d. 300 mm.

Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok sesuai pasal 21.3.4.3 SNI 2847-2013.

2.3.4 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (collapse) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (total collapse) seluruh struktur (**Sudarmoko dalam PU, 1996**).

Kolom harus ditulangi secara spiral, dimana tulangan spiral harus terdiri dari batang tulangan atau kawat menerus yang berspasi sama dari ukuran yang sedemikian dan digabungkan sedemikian rupa. Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi s_0 sepanjang panjang l_0 diukur dari muka joint (pasal 21.3.5.2 SNI 2847-2013). Spasi s_0 tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):

- a. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi 24 kali diameter batang tulangan begel
- b. Setengah dimensi penampang kolom terkecil
- c. 300 mm
- d. Panjang l_0 tidak boleh kurang dari yang terbesar dari (a), (b), dan (c):
 - a. Seperenam bentang bersih kolom
 - b. Dimensi penampang maksimum kolom
 - c. 450 mm

Sengkang tertutup pertama ditempatkan tidak lebih dari $s_0/2$ dari muka joint.

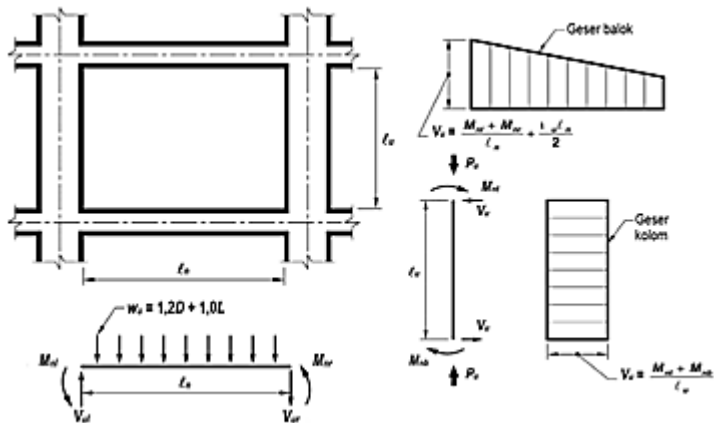
Diluar panjang l_0 , spasi tulangan transversal harus memenuhi pasal 7.10 dan pasal 11.4.5.1 SNI 2847-2013 yang menjelaskan bahwa spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ pada komponen struktur non-prategang dan **0,75h** pada komponen struktur prategang, ataupun 600 mm. Tulangan

transversal joint harus memenuhi pasal 11.10 SNI 2847-2013.

Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding, harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi, s_0 yang telah disyaratkan, sepanjang tinggi penuh dibawah tingkat-dimana diskontinuitas terjadi jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini terkait dengan pengaruh gempa yang melebihi $A_g f_c' / 10$.

Bila gaya desain harus diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas $A_g f_c' / 10$ harus ditingkatkan menjadi $A_g f_c' / 4$. Tulangan transversal ini harus menerus diatas dan dibawah kolom seperti yang disyaratkan dalam pasal 21.6.4.6(b) SNI 2847-2013.

Gambar 1. Desain Rangka Momen Menengah



(SNI 2847-2013 pasal 21.3.5 Gambar S21.3.3)

2.3.5 Pelat

Ketebalan pelat dihitung dengan memperhatikan lendutan minimum berdasarkan SNI 2847-2013. Kontruksi

plat terbagi menjadi 2 jenis yaitu konstruksi pelat satu arah dan konstruksi pelat dua arah.

Tabel 1. Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah bila Lendutan Tidak Dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$
CATATAN: Panjang bentang dalam mm. Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut: (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m ³ , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09. (b) Untuk f_c selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_c/700)$.				

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.2 tabel 9.5(a))

Untuk persyaratan konstruksi pelat dua arah, yaitu sebagai berikut:

Tabel 2. Lendutan Izin Maksimum yang Dihitung

Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup L	$l/180^*$
Lantai yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup L	$l/360$
Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup) ¹	$l/480^{\dagger}$
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.		$l/240^{\S}$
[*] Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemungkinan penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut (<i>camber</i>), toleransi konstruksi, dan keadaan sistem drainase. ¹ Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 9.5.2.5 atau 9.5.4.3, tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan komponen non-struktur. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau. [†] Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan. [§] Batas lendutan tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktur. Batasan ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.		

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.1 pasal tabel 9.5(b))

Untuk pelat dengan balok yang membentangi di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya, h , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Untuk α_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan:

Tabel 3. Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh, f_y MPa ¹	Tanpa penebalan ²			Dengan penebalan ²		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

¹Untuk konstruksi dua arah, ℓ_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
²Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
³Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.
⁴Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.2 tabel 9.5(c))

- b. Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, h tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{2})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$$

SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3)

- c. Untuk α_{fm} lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{2})}{36 + 9\beta}$$

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3)

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_{fm} tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan poin (b) atau poin (c) harus dinaikan paling tidak 10% pada panel dengan tepi

yang tidak menerus. Bagian l_n dalam (b) dan (c) adalah panjang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka balok. Bagian β dalam (b) dan (c) adalah rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap pendek pelat.

2.3.6 Panjang Penyaluran dan Sambungan Tulangan

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan disetiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang penyaluran.

- Penyaluran tulangan momen positif. Paling sedikit sepertiga tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana, dan seperempat tulangan momen positif pada komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka komponen struktur yang sama ke dalam tumpuan. Pada balok, tulangan tersebut harus diteruskan ke dalam paling sedikit 150 mm (SNI 2847-2013 pasal 12.11).
- Penyaluran tulangan momen negatif. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari:
 - a. D
 - b. $12d_b$
 - c. $l_n/16$

Dimana diambil nilai terbesar dari ketiga persamaan diatas (SNI 2847-2013 pasal 12.12).

BAB 3

METODOLOGI PELAKSANAAN

Langkah-langkah dalam perencanaan struktur bangunan ruko menggunakan metode gempa 500 tahun dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut:

3.1 Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam perencanaan ini sebagai berikut:

- a. Data umum proyek/bangunan
- b. Gambar kerja bangunan
- c. Data tanah pada bangunan (Terlampir pada Lampiran 1)
- d. Peraturan dan buku penunjang sebagai dasar teori maupun pendukung untuk Tugas Akhir Terapan ini.

3.2 Preliminary Desain

Penentuan dimensi elemen-elemen struktur dikerjakan dengan mengacu pada SNI 2847-2013 maupun ketentuan lain sesuai dengan literatur yang dipakai.

Elemen-elemen struktur yang direncanakan antara lain, sebagai berikut:

- a. Penentuan dimensi struktur utama : kolom dan balok
- b. Penentuan dimensi struktur sekunder : tangga, pelat lantai, dan pelat atap

3.3 Pembebanan

3.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban dengan besar yang konstan dan berada pada posisi yang sama setiap saat. Beban ini terdiri dari berat sendiri struktur dan beban lain yang melekat pada struktur secara permanen. Termasuk dalam beban mati adalah berat rangka, dinding, lantai, atap, pluming, dll.

Berikut ini penentuan beban mati untuk struktur bangunan diantaranya sebagai berikut:

- a. Beban mati pada pelat atap, terdiri dari:
 1. Berat sendiri pelat

2. Berat plafond dan rangka
3. Instalasi listrik, AC, dan pengairan
- b. Beban mati pada pelat lantai, terdiri dari:
 1. Berat sendiri pelat
 2. Berat pasangan keramik
 3. Beban spesi
 4. Beban plafond dan rangka
- c. Beban mati pada balok, terdiri dari:
 1. Berat sendiri balok
 2. Beban mati pada pelat atap
 3. Berat dinding setengah bata

3.3.2 Beban Hidup

Beban hidup yaitu semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghunian suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan/atau beban akibat air hujan pada atap. Beban hidup pada suatu bangunan dapat ditentukan sesuai SNI 1727-2013 tabel 4-1.

Berdasarkan SNI 1727-2013 tabel 4-1, beban hidup untuk bangunan ruko adalah:

- a. Beban hidup untuk lantai ruko = $4,79 \text{ KN/m}^2$
(Lantai Dasar)
- b. Beban hidup untuk lantai ruko = $3,59 \text{ KN/m}^2$
(Lantai 2 dan di atasnya)
- c. Beban hidup untuk tangga dan bordes = $4,79 \text{ KN/m}^2$
- d. Beban hidup untuk lantai atap = $0,96 \text{ KN/m}^2$

3.3.3 Beban Angin

Perhitungan beban angin mengacu berdasarkan SNI 1727-2013, dimana ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (berupa angin hisap), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan negatif ini dinyatakan dalam satuan gaya per luas bidang.

3.3.4 Beban Hujan

Menurut SNI 1727-2013 pasal 8.3, setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari

semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah dengan beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya.

3.3.5 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa. Dalam hal pengaruh gempa di sini adalah gaya-gaya yang terjadi oleh gerakan tanah akibat adanya gempa.

Dalam perencanaan beban gempa pada bangunan gedung ini, ditentukan berdasarkan dimensi bangunan dan hitungan yang terdapat pada peraturan gempa SNI 1726-2012 dengan metode statik ekuivalen.

Tata cara ini untuk menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah 10 persen. Berikut ini adalah tata cara perhitungan gempa secara berurutan sebagai berikut:

1. Perhitungan beban gempa menggunakan data tanah hasil pengujian SPT, kemudian melakukan perhitungan nilai SPT rata-rata
2. Dari nilai SPT rata-rata dapat ditentukan Kelas Situs Tanah dengan tabel sebagai berikut:

Tabel 4. Kelas Situs Tanah

Kelas Situs	V_s (m/s)	N atau Nch	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750-1500	N/A	N/A
SC (tanah keras)	350-750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175-350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50

	<p>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks Plastis $PI > 20$ 2. kadar air, $w \geq 40\%$ 3. kuat geser nilai $S_u < 25$
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons spesifik- situs yang mengikuti 6.10.1)	<p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah -lempung sangat organis dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$) -lempung berplastis sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5 m$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$) -Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35m$ dengan $S_u < 50$ kPa

Sumber : SNI 03-1726-2012

Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:

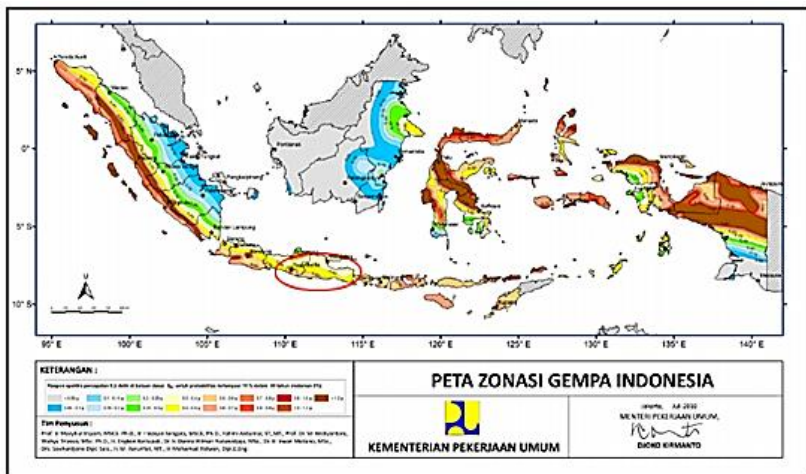
- a. Indeks Plastis (PI) > 20
- b. Kadar air (w) $\geq 40\%$
- c. Kuat geser (S_u) < 25

Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:

- a. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat *sensitive*, dan atau tanah tersementasi lemah
- b. Lempung sangat organis dan atau gambut dengan ketebalan (H) $> 3m$

- c. Lempung berplastis sangat tinggi dengan ketebalan $(H) > 7,5\text{m}$ dengan indeks plastisitas $(PI) > 75$
 - d. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35\text{m}$ dengan $S_u < 50\text{ kPa}$
3. Setelah mengetahui Kelas Situs Tanah, kemudian mencari nilai S_s dan S_1 berdasarkan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010

Gambar 2. Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik (S_s) pada Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam Waktu 50 Tahun



Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_r) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Sumber : SNI 1726-2012

Tabel 6. Koefisien Situs (F_v)

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_r) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 1,0$ detik, S_1				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

Sumber : SNI 1726-2012

5. Menentukan Parameter Spektrum Respons Percepatan pada periode 0,2 detik (S_{MS})

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

6. Menentukan Parameter Spektrum Respons Percepatan pada periode 1 detik (S_{M1})

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

7. Parameter Percepatan Spektral Desain untuk periode 0,2 detik

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

8. Parameter Percepatan Spektral Desain untuk periode 1 detik

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

9. Menentukan besar periode (T) pada suatu bangunan

$$T = Ct hn^x$$

Dimana:

- T = Besar perioda (detik)
 hn = Tinggi bangunan (m)
 Ct = 0,0466
 x = 0,9

10. Membuat Respon Spektrum Gempa

- Untuk perioda lebih kecil T_0 , Spektrum Respons Percepatan Desain:
- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , Spektrum Percepatan Desain:
- Untuk perioda lebih besar T_s , Spektrum Respons Percepatan Desain:

11. Menentukan Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa (I) struktur bangunan

Tabel 7. Kategori Risiko

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV, termasuk, namun tidak dibatasi untuk: <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; margin-top: 5px;"> - Perumahan; rumah toko dan rumah kantor </div> - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

Sumber : SNI 1726-2012

Tabel 8. Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (<i>I</i>)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber : SNI 1726-2012

12. Menentukan nilai Koefisien Modifikasi Respon (*R*)Tabel 9. Faktor *R*, *C_d*, dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respon, <i>R</i>	Faktor Kuat-Lebih Sistem, Ω_0	Faktor Pembesaran Defleksi, <i>C_d</i>	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, <i>h_n</i> (m)					
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah	5	3	4,5	Kategori Desain Seismik					
				B	C	D	E	F	
				TB	TB	TB	TB	TB	

Sumber : SNI 1726-2012

13. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik (*V*)

14. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik per lantai

15. Memasukkan Gaya Geser Dasar Seismik per lantai ke dalam SAP 2000

3.4 Kombinasi Pembebanan

Struktur harus dirancang agar kuat rencananya sama dengan atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi yang mengacu pada SNI 1726-2012 sebagai berikut:

- 1,4 *D*
- 1,2 *D*+1,6 *L*+0,5 (*L_r* atau *R*)
- 1,2 *D*+1,6 *L* (*L_r* atau *R*)+ (*L* atau 0,5 *W*)
- 1,2 *D*+1 *E*+1 *L*
- 0,9 *D*+1 *E*

Keterangan:

- *D* adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, tangga, dan peralatan tetap
- *L* adalah beban hidup yang diakibatkan oleh penggunaan gedung termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain

- Lr adalah beban hidup dari atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak
- R adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan oleh genangan air
- E adalah beban yang diakibatkan karena adanya gaya gempa.

3.5 Analisa Gaya Dalam (N, D, dan M)

3.5.1 Analisa Gaya Dalam Pelat

Untuk perhitungan momen yang terjadi pada pelat berdasarkan pada tabel 13.3.1 dan 13.3.2 pada SNI 2847-2013.

3.5.2 Analisa Gaya Dalam Balok

Untuk membantu dalam perhitungan gaya dalam yang terjadi pada balok menggunakan program bantu yakni SAP 2000 v.14.

3.5.3 Analisa Gaya Dalam Kolom

Untuk membantu dalam perhitungan gaya dalam yang terjadi pada kolom, menggunakan program bantu yakni SAP 2000 v.14 dan PCACOL 4.5.

Untuk Analisa struktur tangga dihitung secara terpisah dari struktur utama. Kemudian reaksi perletakkannya ditransfer sebagai beban pada struktur utama.

Nilai kombinasi yang digunakan sebagai Analisa adalah:

- $1,4 D$
- $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- $1,2 D + 1,6 L (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- $1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$
- $0,9 D + 1,0 E$

Keterangan:

- D = Beban mati
- L = Beban hidup
- W = Beban angin

E = Beban gempa respons spectrum (beban gempa dominan arah x atau y)

3.6 Perhitungan Struktur

Tahapan dalam perhitungan struktur untuk menentukan penulangan adalah sebagai berikut:

1. Output gaya geser, momen lentur, torsi, dan gaya aksial (SAP2000 dan PCACOL).
2. Perhitungan kebutuhan tulangan.
3. Kontrol kemampuan dan cek persyaratan.

Perhitungan struktur dalam Tugas Akhir Terapan ini diantaranya meliputi:

1. Perhitungan struktur primer
 - a. Penulangan Balok
 - Menghitung penulangan lentur
 - Menghitung penulangan geser
 - Menghitung penulangan torsi (puntir)
 - Menghitung panjang penyaluran tulangan
 - b. Penulangan Sloof

Gaya yang terjadi pada sloof sama dengan gaya pada balok, namun sloof memiliki gaya aksial tarik.

 - Menghitung penulangan lentur
 - Menghitung penulangan geser
 - Menghitung panjang penyaluran
 - c. Penulangan Kolom
 - Menghitung kontrol kelangsingan kolom
 - Menghitung pembesaran momen
 - Menghitung penulangan lentur
 - Menghitung kontrol kemampuan kolom
 - Menghitung penulangan geser
 - Menghitung jarak spasi tulangan pada kolom
2. Perhitungan struktur sekunder
 - Menganalisa struktur pelat
 - Menghitung kebutuhan penulangan pelat
 - Mengontrol jarak spasi tulangan
 - Mengontrol tulangan susut

3. Perhitungan panjang penyaluran.

Tahapan yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

- a. Melengkapi data-data perencanaan
 - Kedalaman tiang pancang (h)
 - Diameter tiang pancang (d)
 - Keliling tiang pancang (Ktp)
 - Luas tiang pancang (Atp)
 - Luas selimut tiang pancang (As)
 - Tebal selimut beton
 - Mutu beton pada poer (f'_c)
 - Mutu baja pada poer (f_y)
- b. Menghitung daya dukung tanah
- c. Merencanakan tiang pancang
- d. Merencanakan kelompok tiang pancang perhitungan pile
- e. Merencanakan pilecap (poer), meliputi:
 - Penulangan lentur poer
 - Penulangan geser poer
- f. Menghitung panjang penyaluran tulangan kolom
- g. Kontrol geser pons poer

3.7 Cek Syarat

- a. Balok
 - Kontrol M_n pasang $\geq M_n$ untuk penulangan lentur
 - Kontrol penulangan geser yang terdiri dari 5 kondisi
- b. Kolom
 - Kontrol momen yang terjadi M_n perlu $\geq M_n$
- c. Pelat
 - Kontrol jarak spasi tulangan
 - Kontrol perlu spasi tulangan susut dan suhu
 - Kontrol jarak tulangan susut dan suhu
 - Kontrol lendutan

3.8 Gambar Perencanaan

Gambar perencanaan meliputi:

- a. Gambar eksisting

Gambar awal sebelum dilakukan perhitungan dengan mempertimbangkan perubahan yang ada.

- b. Gambar arsitektur terdiri dari:
 - Gambar tampak (depan, belakang, samping kiri, dan samping kanan)
 - Gambar denah bangunan
 - Gambar potongan (memanjang dan melintang)
- c. Gambar struktur terdiri dari:
 - Gambar struktur primer
 - Gambar struktur sekunder
 - Gambar struktur bangunan bawah
- d. Gambar detail struktur
 - Gambar detail panjang penyaluran, meliputi:
 - Panjang penyaluran pada pelat dan tangga
 - Panjang penyaluran balok
 - Panjang penyaluran kolom
 - Panjang penyaluran sloof
 - Panjang penyaluran pondasi
 - Gambar detail pondasi dan poer

3.9 Perhitungan Volume Pembesian

Volume pembesian dihitung agar mendapatkan jumlah efektif dalam merencanakan jumlah kebutuhan besi yang digunakan sebagai tulangan pada elemen-elemen bangunan gedung seperti pada penulangan balok, kolom, pelat, dan tangga.

Dalam hal ini yang dihitung ialah jumlah lonjor, total berat besi dan total seluruh volume besi yang dibutuhkan sehingga jumlah kebutuhan besi yang digunakan tidak berlebihan dan pas. Pada saat pelaksanaan, mandor atau pelaksana proyek dapat mengetahui berapa banyak besi yang dibutuhkan dan dana proyek dapat dikalkulasi dengan tepat dan efisien.

3.10 Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan yang akan dibahas pada Tugas Akhir Terapan ini adalah metode pelaksanaan pekerjaan kolom beton bertulang dengan mutu yang sesuai dengan keadaan lapangan,

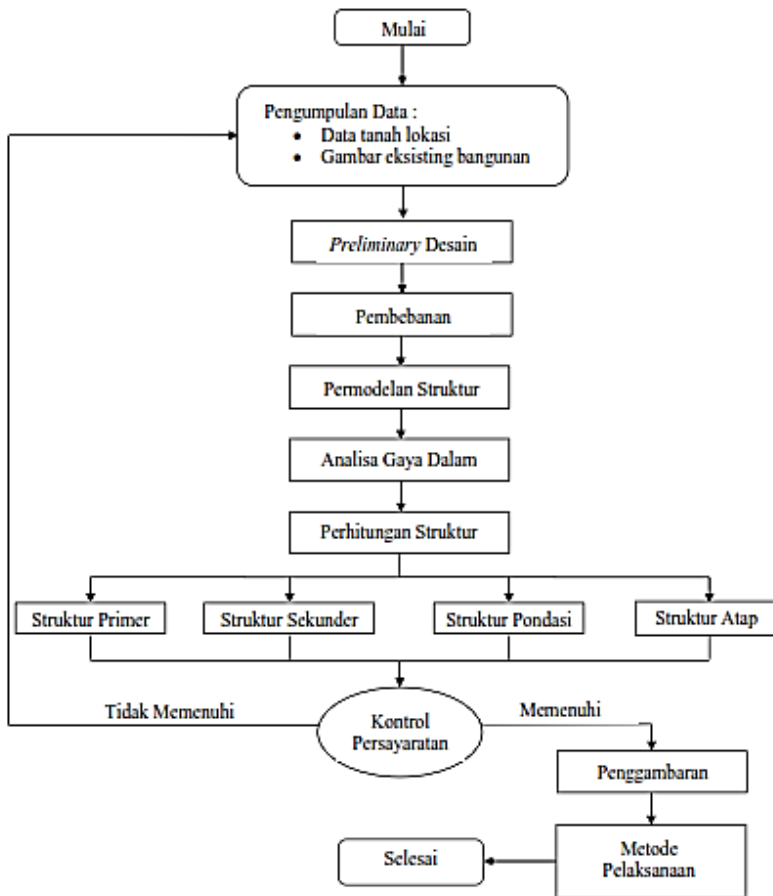
begitupun dengan teknik pengecoran. Kolom yang ditinjau adalah salah satu kolom dari keseluruhan kolom struktur, yang akan ditentukan kemudian. Metode pelaksanaan meliputi tahapan pekerjaan kolom dari lantai terbawah hingga lantai teratas.

3.11 Flow Chart

Flow chart yang akan disajikan dalam laporan Tugas Akhir Terapan ini meliputi:

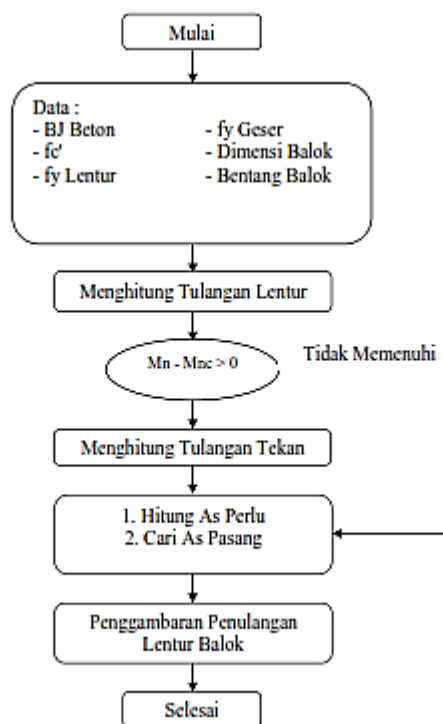
- *Flow Chart* Metodologi
- *Flow Chart* Komponen Struktur Primer
 - Perhitungan penulangan lentur balok
 - Perhitungan penulangan geser balok
 - Perhitungan penulangan torsi
 - Perhitungan penulangan lentur sloof
 - Perhitungan penulangan geser sloof
 - Perhitungan panjang penyaluran balok dan sloof
 - Perhitungan penulangan kolom
- *Flow Chart* Komponen Struktur Sekunder
 - Perhitungan penulangan pelat lantai, pelat atap, dan pelat tangga
- *Flow Chart* Komponen Struktur Pondasi
 - Perhitungan struktur pondasi

Flow Chart Metodologi



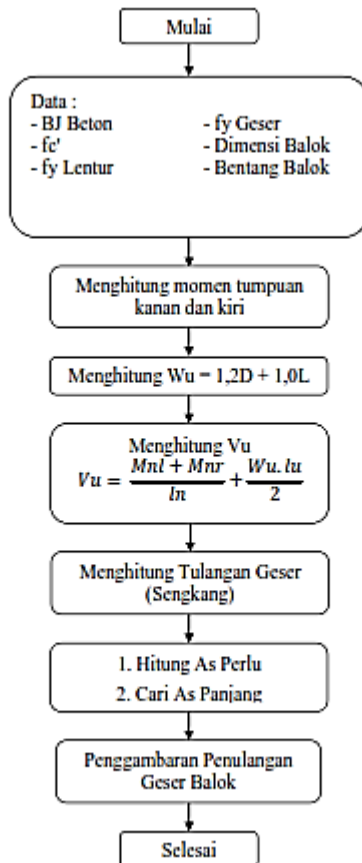
Gambar 4. Flow Chart Metodologi

Flow Chart Komponen Struktur Primer
Perhitungan penulangan lentur balok



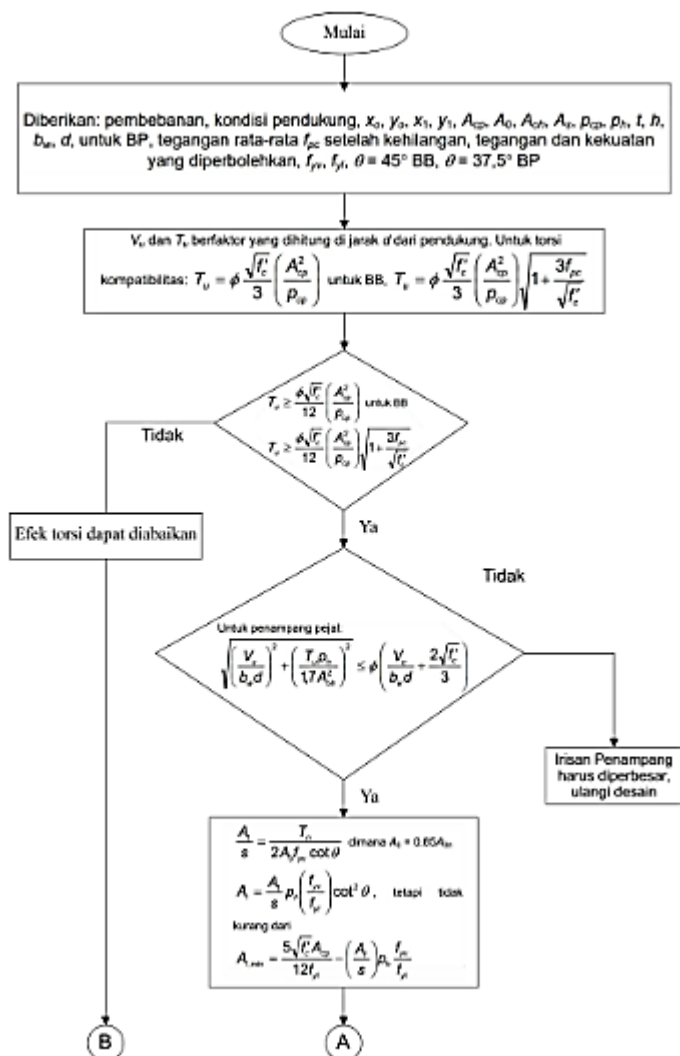
Gambar 5. *Flow Chart* Perhitungan Penulangan Lentur Balok

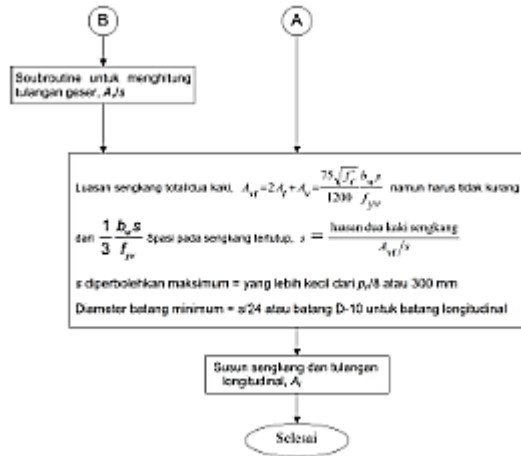
Perhitungan penulangan geser balok



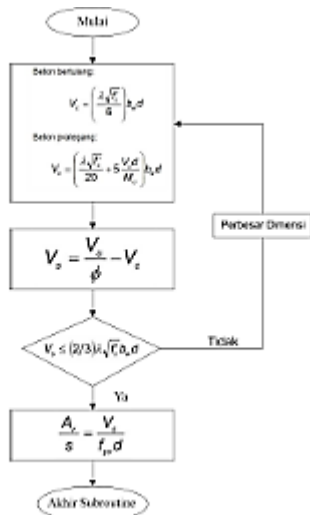
Gambar 6. *Flow Chart* Perhitungan Penulangan Geser Balok

Perhitungan penulangan torsi balok



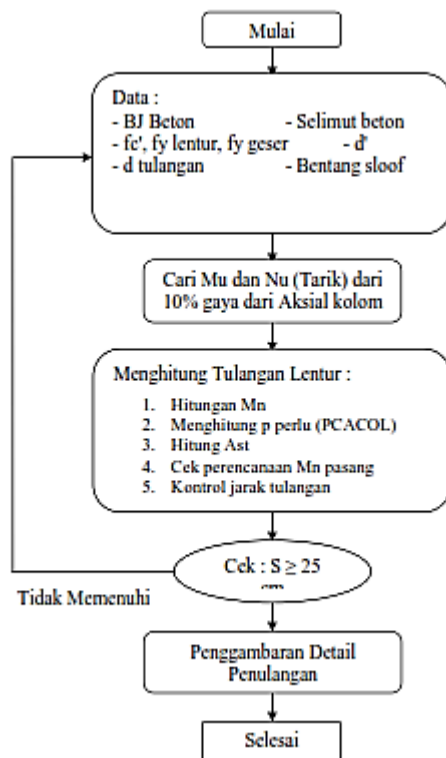


Gambar 7. Flow Chart Perhitungan Penulangan Torsi Balok

Subroutine

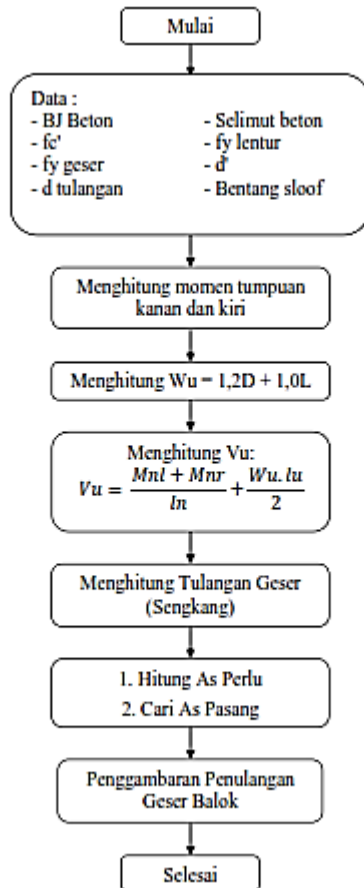
Gambar 8. Flow Chart Subroutine Perhitungan Penulangan Torsi Balok

Perhitungan penulangan lentur sloof



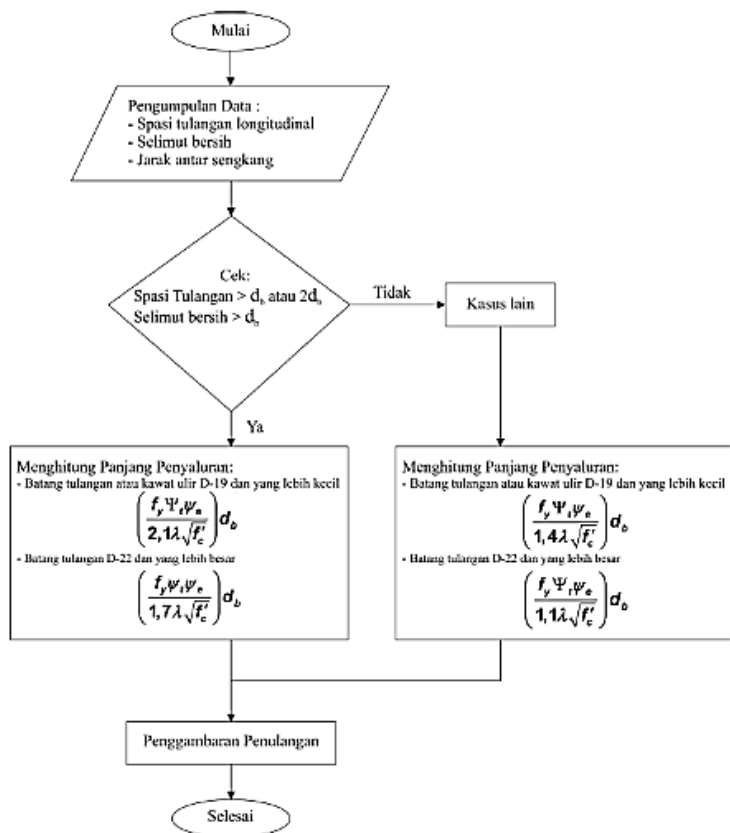
Gambar 9. *Flow Chart* Perhitungan Penulangan Lentur Sloof

Perhitungan penulangan geser sloof



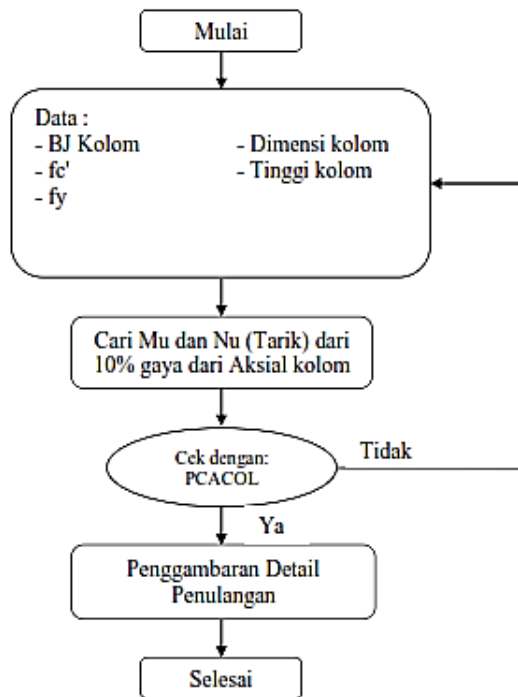
Gambar 10. *Flow Chart* Perhitungan Penulangan Geser Sloof

Perhitungan panjang penyaluran balok dan sloof



Gambar 11. *Flow Chart* Perhitungan Panjang Penyaluran Balok dan Sloof

Perhitungan penulangan kolom



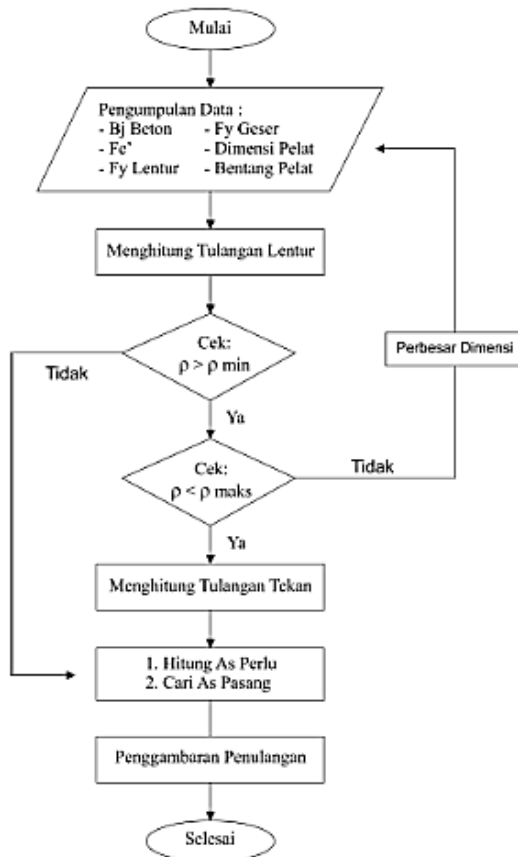
Gambar 12. *Flow Chart* Perhitungan Penulangan Kolom

- Menghitung kontrol kelangsingan kolom
- Menghitung pembesaran momen
- Menghitung penulangan lentur
- Menghitung kontrol kemampuan kolom
- Menghitung penulangan geser
- Menghitung jarak spasi tulangan pada kolom

Flow Chart Komponen Struktur Sekunder

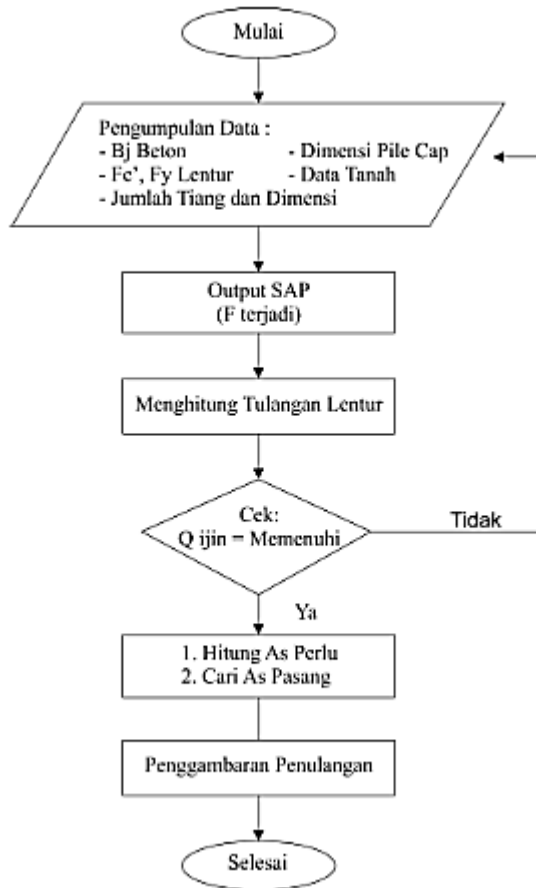
Langkah-langkah dalam menghitung penulangan pada struktur pelat lantai, pelat tangga, dan pelat atap adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa struktur pelat
2. Menghitung kebutuhan penulangan pelat
3. Mengontrol jarak spasi tulangan
4. Mengontrol tulangan susut



Gambar 13. Flow Chart Perhitungan Penulangan Pelat

Flow Chart Komponen Struktur Pondasi
Perhitungan penulangan pondasi



Gambar 14. *Flow Chart* Perhitungan Penulangan Pondasi

Flow Chart Metode Pelaksanaan Balok Dan PelatGambar 15. *Flow Chart* Metode Pelaksanaan Balok dan Pelat

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Sistem Struktur

Dalam menentukan metode sistem struktur untuk perhitungan struktur dalam perencanaan ini berdasarkan SNI 1726-2012 dan peta Hazard Indonesia 2010 dengan probabilitas terlampaui 10% dalam 500 tahun. Penentuan sistem struktur tergantung pada kategori desain seismik bangunan. Langkah-langkah penentuan sistem struktur adalah:

1. Klasifikasi situs

No	Kedalaman Tanah (Di)	Tebal Tanah	N	Di/N
	m	m		
1	0		0	
2	2,5	2,5	14	0,17857
3	5	2,5	20	0,125
4	7,5	2,5	18	0,13889
5	10	2,5	20	0,125
6	12,5	2,5	17	0,14706
7	15	2,5	17	0,14706
8	17,5	2,5	19	0,13158
9	20	2,5	20	0,125
10	22,5	2,5	23	0,1087
11	25	2,5	30	0,08333
12	27,5	2,5	31	0,08065
13	30	2,5	32	0,1
Jumlah		30		1,49083

Tabel 10. Data Tanah

Berdasarkan nilai SPT di atas didapatkan:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{ni}} = 20,12$$

Berdasarkan klasifikasi situs SNI 1726-2012, tanah pada lokasi proyek termasuk ke dalam **situs D (Tanah Sedang)**.

2. Faktor keutamaan bangunan (Ie)

Kategori resiko dan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.1.2 tabel 1 s/d tabel 2. Bangunan perkantoran yang menjadi obyek pada tugas akhir ini termasuk kedalam **kategori resiko II**

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

Tabel 11. Kategori Resiko

3. Menentukan parameter pergerakan tanah

a. Parameter percepatan gempa (S_s dan S_1)

Nilai S_s dan S_1 didapatkan berdasarkan peta Hazard gempa Indonesia 2010 dengan lokasi bangunan di kota Sumenep, Jawa Timur.

Parameter	Nilai
S_s	0,458
S_1	0,179

Tabel 12. Nilai S_s dan S_1

b. Koefisien situs (F_a dan F_v)

Nilai F_a dan F_v berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 4 dan Tabel 5.

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan Periode Pendek, $T=0,2$ Detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	S_s^b				

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 13. Koefisien Situs (F_a)

Dengan interpolasi linier. Untuk nilai $S_s = 0,458$ maka nilai $F_a = 1,433$

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan Perioda Pendek, $T=1$ Detik, S_s				
	$S_I \leq 0,25$	$S_I = 0,5$	$S_I = 0,75$	$S_I = 1,0$	$S_I = 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	S_s^b				

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 14. Koefisien Situs (F_v)

Dengan interpolasi linier. Untuk nilai $S_I = \mathbf{0,179}$ maka nilai $F_v = \mathbf{2,048}$

- c. Parameter respons spektral

$$\begin{aligned} S_{ms} &= F_a \times S_s \\ &= 1,433 \times 0,458 \\ &= 0,656 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{mI} &= F_v \times S_I \\ &= 2,048 \times 0,179 \\ &= 0,373 \end{aligned}$$

- d. Parameter percepatan spektral desain

$$\begin{aligned} S_{DS} &= 2/3 \times S_{ms} \\ &= 2/3 \times 0,656 \\ &= 0,438 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= 2/3 \times S_{mI} \\ &= 2/3 \times 0,373 \\ &= 0,249 \end{aligned}$$

- e. Penentuan kategori desain seismik

Penentuan KDS berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 SNI 1726-2012 pasal 6.5 dengan menggunakan S_{DS} dan S_{D1}

$$S_{DS} = \mathbf{0,438}$$

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 15. Nilai S_{DS}

$$S_{D1} = 0,249$$

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 16. Nilai S_{D1}

Karena S_{D1} termasuk ke dalam kategori desain seismik D, maka ditinjau pasal 6.5 SNI 1726-201. Jika S_1 lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai tabel 6 saja (SNI 1726-2012 pasal 6.5), dimana berlaku semua ketentuan di bawah ini:

1. Pada masing-masing 2 arah ortogonal, perkiraan perioda fundamental struktur T_a , yang ditentukan sesuai dengan pasal 7.8.2.1 adalah kurang dari $0,8T_s$, dimana T_s ditentukan sesuai dengan 6.4

$$T_a = 0,1 N$$

Dimana N adalah jumlah tingkat. Maka,

$$T_a = 0,1 \times 5$$

$$= 0,5$$

$$T_a \leq 0,8 T_s$$

$$0,5 \leq 0,8 \times 0,5685$$

$$0,5 \leq 0,54$$

(memenuhi)

2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perioda fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s . Nilai T_s didapatkan berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4.

$$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$

$$T_s = \frac{0,249}{0,438}$$

$$T_s = 0,5685$$

$$T_a < T_s = 0,5 < 0,5685 \quad \text{(memenuhi)}$$

3. Persamaan 22 digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik C_s .

$$C_s = \frac{SDS}{R}$$

$$C_s = \frac{I_e}{0,438}$$

$$C_s = \frac{5}{1}$$

$$C_s = 0,0876$$

4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan pada pasal 7.3.1 SNI 1726-2012 atau diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m. Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.3.1.2, dimana kondisi diafragma kaku yaitu diafragma pelat beton atau dek metal yang diberi penutup beton dengan perbandingan lebar dan panjang bangunan sebesar 3 atau kurang pada struktur tanpa ketidakberaturan horisontal.

$$\frac{S}{De} < 3$$

$$\frac{48 \text{ m}}{55 \text{ m}} < 3$$

$$0,87 < 3 \quad \text{(memenuhi)}$$

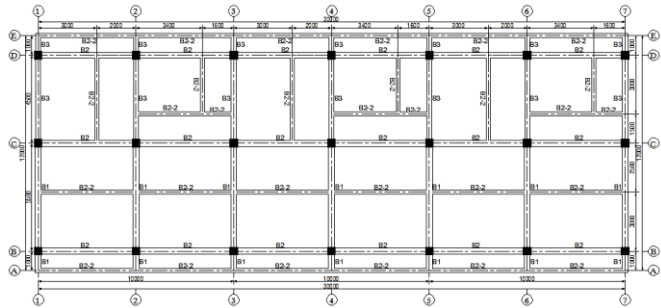
Karena memenuhi 4 persyaratan diatas, maka penentuan kategori desain seismik bangunan berdasarkan pada tabel 6 SNI 1726-2012, yaitu termasuk ke dalam **kategori desain seismik C**, sehingga perhitungan struktur bangunan ruko 4 lantai direncanakan dengan menggunakan **Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)**.

4.2 Preliminary Design

Preliminary design digunakan untuk merencanakan dimensi struktur yang akan dipakai untuk sebuah bangunan yang akan didirikan. Dimensi struktur yang direncanakan dalam tahap ini diantaranya adalah balok induk, balok anak, sloof, kolom, pelat lantai, dan pelat tangga serta bordes.

4.2.1 Perencanaan Dimensi Balok

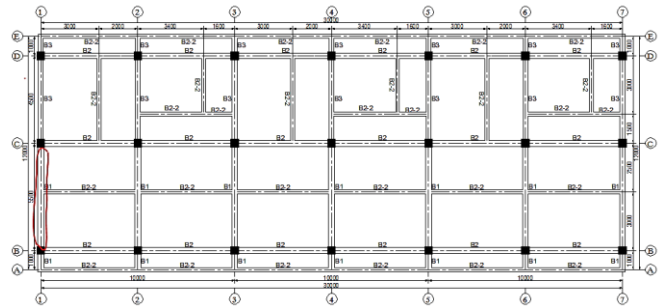
a. Denah pembalokan



b. Perhitungan perencanaan

Balok induk (B1)

Gambar denah perencanaan:



Data perencanaan:

- | | |
|------------------------------------|-----------|
| 1. Tipe balok | : B1 |
| 2. Bentang balok | : 550 cm |
| 3. Kuat leleh tul lentur (f_y) | : 400 Mpa |
| 4. Mutu beton (f_c') | : 30 Mpa |

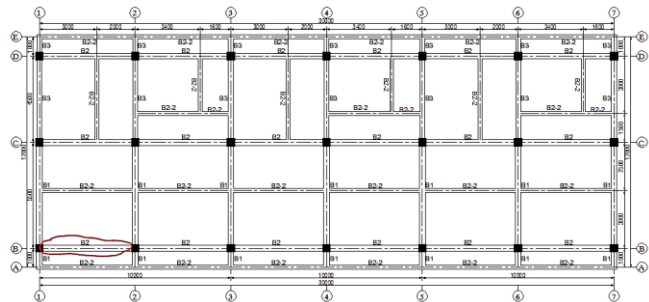
Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 h &\geq \frac{1}{12} \times L \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) & b &= \frac{2}{3} \times h \\
 h &\geq \frac{1}{12} \times 550 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) & b &= \frac{2}{3} \times 50 \\
 h &\geq 44,52 \text{ cm} & b &= 33,3 \text{ cm} \\
 h &\approx 50 \text{ cm} & b &\approx 30 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka dimensi balok induk (B1) adalah 30/50

Balok induk (B2)

Gambar denah perencanaan:



Data perencanaan:

1. Tipe balok : B2
2. Bentang balok : 500 cm
3. Kuat leleh tul lentur (f_y) : 400 Mpa
4. Mutu beton (f_c') : 30 Mpa

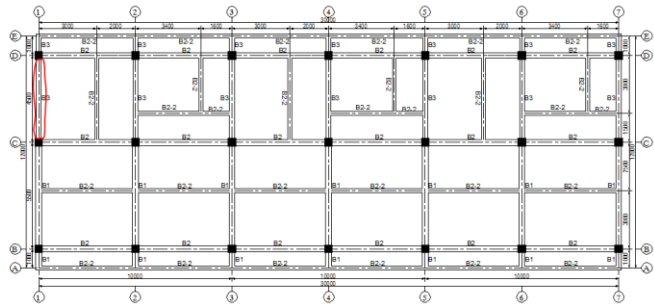
Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 h &\geq \frac{1}{12} \times L \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) & b &= \frac{2}{3} \times h \\
 h &\geq \frac{1}{12} \times 500 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) & b &= \frac{2}{3} \times 40 \text{ cm} \\
 h &\geq 40,48 \text{ cm} & b &= 26,67 \text{ cm} \\
 h &\approx 40 \text{ cm} & b &\approx 30 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka dimensi balok induk (B2) adalah 30/40

Balok induk (B3)

Gambar denah perencanaan:



Data perencanaan:

1. Tipe balok : B3
2. As balok : 1 (D-F)
3. Bentang balok : 450 cm
4. Kuat leleh tul lentur (f_y) : 400 Mpa
5. Mutu beton (f_c') : 30 Mpa

Perhitungan:

$$h \geq \frac{1}{12} \times L \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

$$h \geq \frac{1}{12} \times 450 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) \quad b = \frac{2}{3} \times 35$$

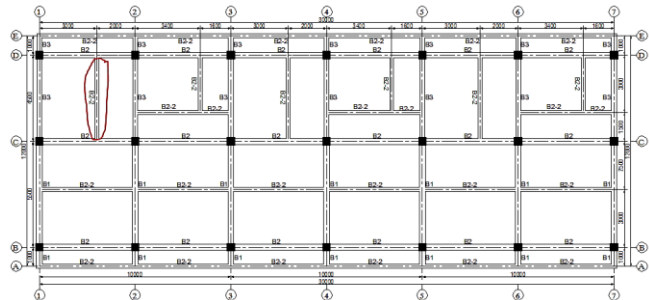
$$h \geq 36,43 \text{ cm} \quad b = 23,33 \text{ cm}$$

$$h \approx 35 \text{ cm} \quad b \approx 25 \text{ cm}$$

Maka dimensi balok induk (B3) adalah 25/35

Balok anak (B2-2)

Gambar denah perencanaan:



Data perencanaan:

1. Tipe balok : B2-2
2. As balok : E (3-5)

3. Bentang balok : 500 cm
4. Kuat leleh tul lentur (f_y) : 400 Mpa
5. Mutu beton (f_c') : 30 Mpa

Perhitungan:

$$h \geq \frac{1}{21} \times L \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

$$h \geq \frac{1}{21} \times 500 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) \quad b = \frac{2}{3} \times 25$$

$$h \geq 23,13 \text{ cm} \quad b = 16,67 \text{ cm}$$

$$h \approx 25 \text{ cm} \quad b \approx 20 \text{ cm}$$

Maka dimensi balok anak (B2-2) adalah 20/25

4.2.2 Perencanaan Dimensi Kolom

- a. Perhitungan perencanaan

Kolom lantai 1 (K1)

Data perencanaan:

1. Tipe kolom : K1
2. Panjang balok induk (B1) : 550 cm
3. Dimensi balok induk (B1) : 30x50
4. Tinggi kolom lantai 1 : 330 cm

Perhitungan:

$$I(B1) = \frac{1}{12} b h^3$$

$$I(B1) = \frac{1}{12} (30)(50)^3$$

$$I(B1) = 312500 \text{ cm}^4$$

$$I(K1) = \frac{(I_{kolom})(I_{Balok})}{L_{balok}} = \frac{(330)(312500)}{550}$$

$$I(K1) = 187500 \text{ cm}^4$$

Direncanakan dimensi kolom utama (K1) dengan ketentuan $b=h$ maka:

$$I(K1) = \frac{1}{12} b h^3$$

$$I(K1) = \frac{1}{12} h^4$$

$$h^4 = (187500)(12) \text{ cm}^4$$

$$h = \sqrt[4]{2250000} \text{ cm}^4$$

$$h = 38,73 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

Sesuai dengan ketentuan $b=h$ maka, $b=h=40 \text{ cm}$

Kolom lantai 2 (K2)Data perencanaan:

1. Tipe kolom : K2
2. Panjang balok induk (B1) : 550 cm
3. Dimensi balok induk (B1) : 30x50
4. Tinggi kolom lantai 1 : 357 cm

Perhitungan:

$$I(B1) = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}(30)(50)^3$$

$$I(B1) = 312500 \text{ cm}^4$$

$$I(K2) = \frac{(L \text{ kolom})(I \text{ Balok})}{L \text{ balok}} = \frac{(357)(312500)}{550}$$

$$I(K2) = 202840,909 \text{ cm}^4$$

Direncanakan dimensi kolom utama (K2) dengan ketentuan $b=h$ maka:

$$I(K2) = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I(K2) = \frac{1}{12}h^4$$

$$h^4 = (202840,909)(12) \text{ cm}^4$$

$$h = \sqrt[4]{2434090,91} \text{ cm}^4$$

$$h = 39,50 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

Sesuai dengan ketentuan $b=h$ maka, $b=h=40 \text{ cm}$

Kolom lantai 3 (K3)Data perencanaan:

1. Tipe kolom : K3
2. Panjang balok induk (B1) : 550 cm
3. Dimensi balok induk (B1) : 30x50
4. Tinggi kolom lantai 1 : 357 cm

Perhitungan:

$$I(B1) = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I(B1) = \frac{1}{12}(30)(50)^3$$

$$I(B1) = 312500 \text{ cm}^4$$

$$I(K3) = \frac{(L \text{ kolom})(I \text{ Balok})}{L \text{ balok}} = \frac{(357)(312500)}{550}$$

$$I(K3) = 202840,909 \text{ cm}^4$$

Direncanakan dimensi kolom utama (K3) dengan ketentuan $b=h$ maka:

$$I(K3) = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I(K3) = \frac{1}{12}h^4$$

$$h^4 = (202840,909)(12)cm^4$$

$$h = \sqrt[4]{2434090,91}cm^4$$

$$h = 39,50 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

Sesuai dengan ketentuan $b=h$ maka, $b=h=40 \text{ cm}$

Kolom lantai 4 (K4)

Data perencanaan:

1. Tipe kolom : K4
2. Panjang balok induk (B1) : 550 cm
3. Dimensi balok induk (B1) : 30x50
4. Tinggi kolom lantai 1 : 352 cm

Perhitungan:

$$I(B1) = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I(B1) = \frac{1}{12}(30)(50)^3$$

$$I(B1) = 312500 \text{ cm}^4$$

$$I(K4) = \frac{(L \text{ kolom})(I \text{ Balok})}{L \text{ balok}}$$

$$I(L4) = \frac{(352)(312500)}{550}$$

$$I(K4) = 200000,0cm^4$$

Direncanakan dimensi kolom utama (K4) dengan ketentuan $b=h$ maka:

$$I(K4) = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I(K4) = \frac{1}{12}h^4$$

$$h^4 = (200000,0)(12)cm^4$$

$$h = \sqrt[4]{2400000}cm^4$$

$$h = 39,36 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

Sesuai dengan ketentuan $b=h$ maka, $b=h=40 \text{ cm}$

4.2.3 Perencanaan Dimensi Sloof

a. Perhitungan perencanaan:

Sloof 1 (S1)

Data perencanaan:

1. Dimensi kolom (K1) : 40x40
2. Tinggi kolom (K1) : 330 cm
3. Bentang sloof : 550 cm

Perhitungan:

$$I(K1) = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I(B1) = \frac{1}{12}(40)(40)$$

$$I(B1) = 213333,3 \text{ cm}^4$$

$$I(S1) = \frac{(L \text{ Sloof})(I \text{ Kolom})}{L \text{ Kolom}} = \frac{(550)(213333,3)}{330}$$

$$I(S1) = 355555,56 \text{ cm}^4$$

Direncanakan dimensi sloof dengan ketentuan $b = \frac{2}{3}h$

$$I(S1) = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}\left(\frac{2}{3}h\right)h^3 = \frac{1}{18}h^4$$

$$h^4 = (355555,56)(18)$$

$$h = \sqrt[4]{6400000 \text{ cm}^4}$$

$$h = 50,29 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3}(50 \text{ cm})$$

$$b = 33,33 \text{ cm} = 35 \text{ cm}$$

Maka dimensi S1 adalah 35/50

Sloof 2 (S2)

Data perencanaan:

1. Dimensi kolom (K1) : 40x40
2. Tinggi kolom (K1) : 330 cm
3. Bentang sloof : 500 cm

Perhitungan:

$$I(K1) = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I(K1) = \frac{1}{12}(40)(40)$$

$$I(K1) = 213333,3 \text{ cm}^4$$

$$I(S2) = \frac{(L \text{ Sloof})(I \text{ Kolom})}{L \text{ Kolom}} = \frac{(500)(213333,3)}{330}$$

$$I(S2) = 323232,32 \text{ cm}^4$$

Direncanakan dimensi sloof dengan ketentuan $b = \frac{2}{3}h$

$$I(S2) = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}\left(\frac{2}{3}h\right)h^3 = \frac{1}{18}h^4$$

$$h^4 = (323232,32)(18)$$

$$h = \sqrt[4]{5818181,82 \text{ cm}^4}$$

$$h = 49,11 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3}(50 \text{ cm})$$

$$b = 33,33 \text{ cm} = 35 \text{ cm}$$

Maka dimensi S2 adalah 35/50

Sloof 3 (S3)

Data perencanaan:

1. Dimensi kolom (K1) : 40x40
2. Tinggi kolom (K1) : 298 cm
3. Bentang sloof : 450 cm

Perhitungan:

$$I(K1) = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I(K1) = \frac{1}{12}(40)(40)$$

$$I(K1) = 213333,3 \text{ cm}^4$$

$$I(S3) = \frac{(L \text{ Sloof})(I \text{ Kolom})}{L \text{ Kolom}} = \frac{(450)(213333,3)}{330}$$

$$I(S3) = 290909,09 \text{ cm}^4$$

Direncanakan dimensi sloof dengan ketentuan $b = \frac{2}{3}h$

$$I(S3) = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}\left(\frac{2}{3}h\right)h^3 = \frac{1}{18}h^4$$

$$h^4 = (290909,09)(18)$$

$$h = \sqrt[4]{5236363,64 \text{ cm}^4}$$

$$h = 47,84 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

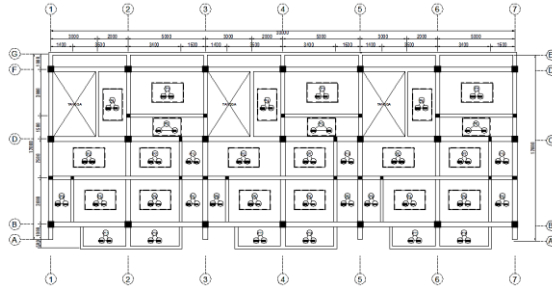
$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3}(50 \text{ cm})$$

$$b = 33,33 \text{ cm} = 35 \text{ cm}$$

Maka dimensi S3 adalah 35/50

4.2.4 Perencanaan Dimensi Pelat

Gambar perencanaan:



Data –data perencanaan:

- Tipe pelat : P1
- Mutu beton (f_c') : 30 Mpa
- Mutu baja (f_y) : 400 Mpa
- Rencana tebal pelat : 12 cm
- Bentang pelat sb. panjang (l_y) : 500 cm
- Bentang pelat sb. pendek (l_x) : 300 cm

Perhitungan perencanaan

- Bentang bersih sb. panjang dan sb. Pendek

$$l_n = l_y - \frac{b_{\text{balok kiri}}}{2} - \frac{b_{\text{balok kanan}}}{2}$$

$$l_n = 500 - \frac{30}{2} - \frac{30}{2}$$

$$l_n = 470 \text{ cm}$$

$$s_n = l_x - \frac{b_{\text{balok bawah}}}{2} - \frac{b_{\text{balok atas}}}{2}$$

$$s_n = 300 - \frac{30}{2} - \frac{20}{2}$$

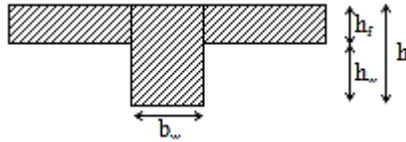
$$s_n = 275 \text{ cm}$$

- Rasio l_n/s_n

$$\beta = \frac{l_n}{s_n} = \frac{470 \text{ cm}}{275 \text{ cm}} = 1,71$$

- Perhitutngan tebal pelat

- a. Tinjau balok kiri (bentuk T)



$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$h_w = 38 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif pelat:

$$b_e = b_w + 2h_w = 106 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 126 \text{ cm}$$

Diambil nilai b_e terkecil = 106 cm

- Faktor modifikasi, k:

$$k_1 = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)\left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k_1 = 1,69$$

- Momen inersia penampang balok:

$$I_b = (k) \frac{(b_w)(h^3)}{12}$$

$$I_b = (1,69) \frac{(30)(50^3)}{12}$$

$$I_b = 528125 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat:

$$I_p = \frac{(b_p)(h_f^3)}{12}$$

$$I_p = \frac{(0,5(500 \text{ cm} + 500 \text{ cm}))(12)^3}{12}$$

$$I_p = 72000 \text{ cm}^4$$

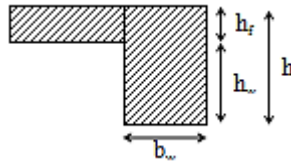
- Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\propto f_1 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\propto f_1 = \frac{528125 \text{ cm}^4}{72000 \text{ cm}^4}$$

$$\propto f_1 = 7,335$$

b. Tinjau balok kanan (bentuk L)



$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$h_w = 38 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif pelat:

$$b_e = b_w + h_w = 68 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 4h_f = 78 \text{ cm}$$

Diambil nilai b_e terkecil = 68 cm

- Faktor modifikasi, k:

$$k_2 = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right) \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k_2 = 1,42$$

- Momen inersia penampang balok:

$$I_b = (k) \frac{(b_w)(h^3)}{12}$$

$$I_b = (1,42) \frac{(30)(50^3)}{12}$$

$$I_b = 443750 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat:

$$I_p = \frac{(b_p)(h_f^3)}{12}$$

$$I_p = \frac{(0,5 \times 500 \text{ cm})(12)^3}{12}$$

$$I_p = 36000 \text{ cm}^4$$

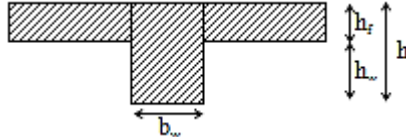
- Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\propto f_2 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\propto f_2 = \frac{443750 \text{ cm}^4}{36000 \text{ cm}^4}$$

$$\propto f_2 = 12,326$$

c. Tinjau balok atas (bentuk T)



$$b_w = 20 \text{ cm}$$

$$h = 25 \text{ cm}$$

$$h_w = 13 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif p elat:

$$b_e = b_w + 2h_w = 46 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 116 \text{ cm}$$

Diambil nilai b_e terkecil = 46 cm

- Faktor modifikasi,

k:

$$k_3 = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)\left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k_3 = 1,46$$

- Momen inersia penampang balok:

$$I_b = (k) \frac{(b_w)(h^3)}{12}$$

$$I_b = (1,46) \frac{(20)(25^3)}{12}$$

$$I_b = 38020,83 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat:

$$I_p = \frac{(b_p)(h_f^3)}{12}$$

$$I_p = \frac{(0,5(300 \text{ cm} + 250 \text{ cm}))(12)^3}{12}$$

$$I_p = 39600 \text{ cm}^4$$

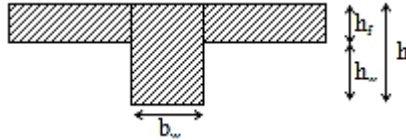
- Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\propto f_3 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\propto f_3 = \frac{38020,83 \text{ cm}^4}{39600 \text{ cm}^4}$$

$$\propto f_3 = 0,96$$

d. Tinjau balok bawah (bentuk T)



$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$h_w = 28 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif pelat:

$$b_e = b_w + 2h_w = 86 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 126 \text{ cm}$$

Diambil nilai b_e terkecil = 86 cm

- Faktor modifikasi, k :

$$k_4 = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)\left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k_4 = 1,58$$

- Momen inersia penampang balok:

$$I_b = (k) \frac{(b_w)(h^3)}{12}$$

$$I_b = (1,58) \frac{(30)(40)^3}{12}$$

$$I_b = 252800 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat:

$$I_p = \frac{(b_p)(h_f)^3}{12}$$

$$I_p = \frac{(0,5(300 \text{ cm} + 100 \text{ cm}))(12)^3}{12}$$

$$I_p = 28800 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\propto f_4 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\propto f_4 = \frac{252800 \text{ cm}^4}{28800 \text{ cm}^4}$$

$$\propto f_4 = 8,78$$

Dari keempat balok di atas didapatkan rata-rata:

$$\propto f_m = \frac{\propto f_1 + \propto f_2 + \propto f_3 + \propto f_4}{4}$$

$$\propto f_m = \frac{7,335 + 12,326 + 0,96 + 8,78}{4}$$

$$\propto f_m = 7,35$$

Karena $\propto f_m > 2,0$ dipakai persamaan:

$$h_f = \frac{l_n(0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm}$$

$$h_f = \frac{470(0,8 + \frac{400}{1400})}{36 + 9(1,88)} > 90 \text{ mm}$$

$$h_f = 9,64 \text{ cm} > 90 \text{ mm}$$

$$h_f = 96,4 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

$$h_f = 120 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

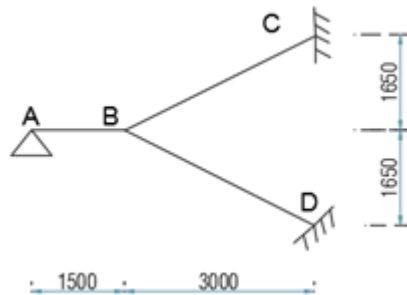
Maka tebal pelat yang dipakai adalah 120 mm

4.2.5 Perencanaan Dimensi Tangga

Permodelan struktur tangga ini menggunakan program SAP 2000. Adapun data-data yang diinput adalah sebagai berikut :

1. Perletakan : Jepit-Sendi-Jepit
2. Pembebanan : Dead Load (DL) dan Live Load (LL)
3. Kombinasi : 1,2 DD + 1,6 LL
4. Distribusi : (Uniform Shell Load) untuk semua beban DL dan LL sesuai dengan pembebanan tangga.

Adapun data perhitungan dimensi tangga adalah sebagai berikut:



1. Data-data perencanaan:

Tipe tangga	: Tangga utama
Panjang datar tangga	: 300 cm
Tinggi tangga	: 330 cm
Tinggi bordes	: 165 cm
Tebal pelat tangga (t_s)	: 15 cm
Lebar injakan (i)	: 30 cm
Tinggi injakan (t)	: 15 cm
Lebar tangga	: 130 cm
Lebar bordes	: 150 cm

2. Perhitungan perencanaan:

- Jumlah tanjakan (n)

$$n_t = \frac{\text{tinggi bordes}}{t} = \frac{165 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} = 11 \text{ buah}$$

- Jumlah injakan (i)

$$n_i = n_t - 1 = 11 \text{ buah} - 1 = 10 \text{ buah}$$

- Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$\alpha = \arctan \frac{15}{30}$$

$$\alpha = 26,565^\circ$$

- Cek syarat

Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 26,565^\circ \leq 40^\circ \quad (\text{OK})$$

Syarat lebar injakan dan tinggi tahanan

$$60 \text{ cm} \leq 2t+i \leq 65 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm} \leq 60 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm} \quad (\text{OK})$$

- Tebal efektif pelat tangga

$$Luas 1 = \frac{1}{2}(i)(t)$$

$$Luas 1 = \frac{1}{2}(30 \text{ cm})(15 \text{ cm})$$

$$Luas 1 = 225 \text{ cm}^2$$

$$Luas 2 = \frac{1}{2}\sqrt{(i^2 + t^2)}(d)$$

$$Luas 2 = \frac{1}{2}\sqrt{\{(30 \text{ cm})^2 + (15 \text{ cm})^2\}}(d)$$

$$Luas 2 = 16,77d \text{ cm}$$

$$Luas 1 = Luas 2$$

$$225 \text{ cm}^2 = 16,77d \text{ cm}$$

$$d = 13,42 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2}d = 6,71 \text{ cm}$$

Maka tebal efektif pelat tangga adalah

$$h = t_s + \frac{1}{2}d$$

$$= 15 \text{ cm} + 6,71 \text{ cm}$$

$$= 21,71 \text{ cm} = 22 \text{ cm}$$

4.3 Pembebanan

4.3.1 Pembebanan Pelat

Pembebanan yang terdapat pada komponen struktur pelat disesuaikan dengan peraturan pembebanan yaitu SNI 1727:2013. Karena struktur pelat merupakan salah satu komponen sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (D) dan beban hidup (L) dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1, yaitu $1,2DL + 1,6LL$.

- a. Pembebanan Pelat Lantai

LANTAI 1			
Beban Hidup			
Ruko	=	479	kg/m ² (Tabel 4-1 SNI 1727-2013)
Tangga dan bordes	=	479	kg/m ² (Tabel 4-1 SNI 1727-2013)
Beban Mati			
Berat sendiri pelat (t=12 cm)	=	288	kg/m ²
Spesi, 21 kg/m ² per cm (t=2 cm)	=	42	kg/m ²
Keramik (t=1 cm)	=	24	kg/m ²
Plafond dan penggantung	=	18	kg/m ²
Mekanikal Elektrikal	=	19	kg/m ²
Plumbing	=	25	kg/m ² (PPIUG 1983)
Total	=	416	kg/m ²

LANTAI 2			
Beban Hidup			
Ruko	=	359	kg/m ² (Tabel 4-1 SNI 1727-2013)
Tangga dan bordes	=	479	kg/m ² (Tabel 4-1 SNI 1727-2013)
Beban Mati			
Berat sendiri pelat (t=12 cm)	=	288	kg/m ²
Spesi, 21 kg/m ² per cm (t=2 cm)	=	42	kg/m ²
Keramik (t=1 cm)	=	24	kg/m ²
Plafond dan penggantung	=	18	kg/m ²
Mekanikal Elektrikal	=	19	kg/m ²
Plumbing	=	25	kg/m ² (PPIUG 1983)
Total	=	416	kg/m ²

LANTAI 3			
Beban Hidup			
Ruko	=	359	kg/m ² (Tabel 4-1 SNI 1727-2013)
Tangga dan bordes	=	479	kg/m ² (Tabel 4-1 SNI 1727-2013)
Beban Mati			
Berat sendiri pelat (t=12 cm)	=	288	kg/m ²
Spesi, 21 kg/m ² per cm (t=2 cm)	=	42	kg/m ²
Keramik (t=1 cm)	=	24	kg/m ²
Plafond dan penggantung	=	18	kg/m ²
Mekanikal Elektrikal	=	19	kg/m ²
Plumbing	=	25	kg/m ² (PPIUG 1983)
Total	=	416	kg/m ²

LANTAI 4			
Beban Hidup			
Ruko	=	359	kg/m ² (Tabel 4-1 SNI 1727-2013)
Beban Mati			
Berat sendiri pelat (t=12 cm)	=	288	kg/m ²
Spesi, 21 kg/m ² per cm (t=2 cm)	=	42	kg/m ²
Keramik (t=1 cm)	=	24	kg/m ²
Plafond dan penggantung	=	18	kg/m ²
Mekanikal Elektrikal	=	19	kg/m ²
Plumbing	=	25	kg/m ² (PPIUG 1983)
Total	=	416	kg/m ²

b. Pembebanan Pelat Atap

LANTAI ATAP			
Beban Hidup			
Atap	=	96	kg/m ² (Tabel 4-1 SNI 1727-2013)
Beban Mati			
Berat sendiri pelat (t=12 cm)	=	288	kg/m ²
Plafond dan penggantung	=	18	kg/m ²
Waterproofing	=	7	kg/m ²
Mekanikal Elektrikal	=	19	kg/m ²
Plumbing	=	25	kg/m ² (PPIUG 1983)
Total	=	357	kg/m ² (PPIUG 1983)

4.3.2 Beban Dinding

Pembebanan pada komponen struktur dinding disesuaikan dengan brosur yang telah dilampirkan.

Material	BJ (kg/m ³)	Nilai (kg/m ²)
Bata ringan Citicon (t=10 cm)	600	60
Plester D200 (t=3cm)	2000	60
Acian NP S540 (t=2 cm)	100	2
Total		122

Tabel 17. Brosur Komponen Struktur Dinding

Beban dinding didistribusikan pada komponen balok sebagai beban mati, dengan perhitungan pembebanan menyesuaikan dengan tinggi lantai pada bangunan.

- Data tinggi lantai:

$$\text{Lantai 1 s/d lantai 2} = 3,3 \text{ m}$$

$$\text{Lantai 2 s/d lantai 3} = 3,57 \text{ m}$$

$$\text{Lantai 3 s/d lantai 4} = 3,57 \text{ m}$$

$$\text{Lantai 4 s/d lantai atap} = 3,52 \text{ m}$$

- Perhitungan pembebanan

$$\text{Lantai 1 s/d lantai 2}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban merata} &= H1 \times Q_{\text{dinding}} \\ &= 3,3 \text{ m} \times 122 \text{ kg/m}^2 \\ &= 402,6 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{Lantai 2 s/d lantai 3}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban merata} &= H2 \times Q_{\text{dinding}} \\ &= 3,57 \text{ m} \times 122 \text{ kg/m}^2 \\ &= 435,54 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{Lantai 3 s/d lantai 4}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban merata} &= H3 \times Q_{\text{dinding}} \\ &= 3,57 \text{ m} \times 122 \text{ kg/m}^2 \\ &= 435,54 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{Lantai 4 s/d lantai atap}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban merata} &= H4 \times Q_{\text{dinding}} \\ &= 3,52 \text{ m} \times 122 \text{ kg/m}^2 \\ &= 429,44 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

4.3.3 Beban Angin

Prosedur perhitungan beban angin berdasarkan pada SNI 1727-2013

1. Kategori resiko bangunan = II
2. Kecepatan angin dasar = 28 km/jam
= 7,784 m/dtk
3. Parameter beban angin
 - Faktor arah angin (K_d) = 0,85
 - Kategori eksposur = B
 - Faktor topografi (K_{zt}) = 1
 - Faktor tiupan angin (G) = 0,85
 - Kategori ketertutupan = Tertutup
 - Koef tekanan internal = +0,18
= -0,18
4. Koefisien eksposur tekanan velositas
 - K_h = 0,7893

- $K_z = 1,10893$
- 5. Tekanan velositas
 - $q_z = 35,0098$
 - $q_h = 24,9199$
- 6. Koef tekanan eksternal, C_p atau C_N
 - Koef tekanan dinding, C_p

Bagian Dinding	C_p	Digunakan Dengan
Dinding di sisi angin datang	0,8	q_z
Dinding di sisi angin datang	-0,275	q_h
Dinding tepi	-0,7	q_h

- Koef tekanan atap, C_p , untuk digunakan q_h
 - $h/L = 0,4653$
 - $C_p = -0,9$
 - Faktor reduksi $= 0,8$
- 7. Tekanan angin, P , pada setiap permukaan gedung
 - Gedung kaku tertutup
 - GC_{pi} untuk bangunan gedung tertutup adalah $+0,18$ atau $-0,18$
 - Tekanan angin datang $= 17,5049 \text{ N/m}^2$
 - Tekanan angin pergi $= -1,3394 \text{ N/m}^2$

4.3.4 Beban Hujan

$$R = 0,0098 (ds + dh)$$

Dimana,

ds = Kedalaman air pada atap yang tidak melendut (20 mm)

dh = Tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut (10 mm)

Maka,

$$\begin{aligned}
 R &= 0,0098 (ds + dh) \\
 &= 0,0098 (20 + 10) \\
 &= 0,294 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 29,4 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

4.3.5 Pembebanan Tangga dan Bordes

Pembebanan pada pelat tangga dan bordes adalah sebagai berikut:

Pelat tangga

Beban Mati (Q_{DL})		
Berat sendiri tangga	$0,22 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	528 kg/m^2
Berat spesi ($t=2 \text{ cm}$)	$2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	42 kg/m^2
Berat keramik ($t=1 \text{ cm}$)	$1 \times 24 \text{ kg/m}^2$	24 kg/m^2
Railing	30 kg/m^2	30 kg/m^2
Total Q_{DL}		624 kg/m^2
Beban Hidup (Q_{LL})		
Anak tangga dan jalan keluar		479 kg/m^2
Total Q_{LL}		479 kg/m^2
Beban Ultimate (Q_u)		
$Q_u = 1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL}$	$1,2 (624 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (479 \text{ kg/m}^2)$	
Total Q_u		$1515,2 \text{ kg/m}^2$

Pelat bordes

Beban Mati (Q_{DL})		
Berat sendiri bordes	$0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	360 kg/m^2
Berat spesi ($t=2 \text{ cm}$)	$2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	42 kg/m^2
Berat keramik ($t=1 \text{ cm}$)	$1 \times 24 \text{ kg/m}^2$	24 kg/m^2
Railing	30 kg/m^2	30 kg/m^2
Total Q_{DL}		456 kg/m^2
Beban Hidup (Q_{LL})		
Anak tangga dan jalan keluar		479 kg/m^2
Total Q_{LL}		479 kg/m^2
Beban Ultimate (Q_u)		
$Q_u = 1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL}$	$1,2 (456 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (479 \text{ kg/m}^2)$	
Total Q_u		$1313,6 \text{ kg/m}^2$

4.3.6 Pembebanan Gempa

Prosedur perhitungan beban gempa dengan metode statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726:2012. Adapun perhitungan pembebanan gempa adalah sebagai berikut :

1. Klasifikasi situs

No	Kedalaman Tanah (Di)	Tebal Tanah	N	Di/N
	(m)	(m)		
1	0		0	
2	2,5	2,5	14	0,17857
3	5	2,5	20	0,125
4	7,5	2,5	18	0,13889
5	10	2,5	20	0,125
6	12,5	2,5	17	0,14706
7	15	2,5	17	0,14706
8	17,5	2,5	19	0,13158
9	20	2,5	20	0,125
10	22,5	2,5	23	0,1087
11	25	2,5	30	0,08333
12	27,5	2,5	31	0,08065
13	30	2,5	32	0,1
Jumlah		30		1,49083

Kondisi tanah:

$$N_{rata-rata} = \frac{\sum_{i=0}^n D_i}{\sum_{i=0}^n \frac{D_i}{N}} = 20,123$$

Maka, berdasarkan klasifikasi situs sesuai SNI 1726-2012, tanah pada lokasi proyek termasuk ke dalam **situs SD (Tanah Sedang)**.

2. Faktor keutamaan bangunan (I_c)

Kategori resiko dan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.1.2 tabel 1 s/d tabel 2. Bangunan ruko yang menjadi objek pada tugas akhir terapan ini termasuk dalam **kategori resiko II**.

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa (I)
I atau II	1,0

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa (I)
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI 1726-2012

3. Menentukan parameter pergerakan tanah

a. Parameter percepatan gempa (S_s dan S_1)

Nilai S_s dan S_1 diperoleh berdasarkan pada Peta Hazzard Gempa Indonesia 2010 dengan lokasi di kota Sumenep, Jawa Timur.

Parameter	Nilai
S_s	0,458
S_1	0,179

b. Koefisien situs (F_a dan F_v)

Nilai F_a dan F_v berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 4 dan tabel 5.

Koefisien F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan Periode Pendek, $T=0,2$ Detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	S_s^b				

Sumber: SNI 1726-2012

Dengan interpolasi linier, nilai untuk $S_s=0,458$ didapatkan nilai $F_a=1,433$

Koefisien F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan Periode Pendek, $T=1$ Detik, S_s				
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 = 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan Periode Pendek, $T=1$ Detik, S_s				
	$S_I \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 = 1,25$
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	S_s^b				

Dari interpolasi linier, untuk nilai $S_1=0,179$ didapatkan nilai $F_v=2,084$

c. Parameter respons spektral

$$S_{MS} = F_a(S_s) = 1,433(0,458) = 0,656$$

$$S_{M1} = S_1(F_v) = 0,179(2,084) = 0,373$$

d. Parameter kategori desain seismik

$$S_{DS} = \left(\frac{2}{3}\right) S_{MS} = \left(\frac{2}{3}\right) 0,657 = 0,438$$

$$S_{D1} = \left(\frac{2}{3}\right) S_{M1} = \left(\frac{2}{3}\right) 0,373 = 0,249$$

4. Menentukan periode fundamental pendekatan

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.2.1 dimana sebagai alternatif, diijinkan menentukan T_a dari persamaan dibawah untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tingkat paling sedikit 3m

$$T_a = 0,1N$$

Dimana N adalah jumlah tingkat.

Maka,

$$T_a = 0,1 \times (5)$$

$$= 0,5$$

5. Koefisien respons seismik

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} = \frac{0,438}{\frac{5}{1}} = 0,0876$$

Dengan nilai $R=5$ (SRPMM)

$$C_{s_{min}} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

$$= 0,044 \times 0,438 \times 1 \geq 0,01$$

$$= 0,0193 \geq 0,01 \quad \text{(memenuhi)}$$

$$C_{s_{max}} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{T_e}\right)} = \frac{0,249}{5\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,0996$$

$$C_{s_{min}} < C_s < C_{s_{max}}$$

$$0,0193 < 0,0876 < 0,0996 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka digunakan nilai $C_s = 0,0876$

6. Berat seismik efektif total struktur
Berdasarkan perhitungan berat struktur yang dilampirkan, didapatkan **1.644.246,41 kg**
7. Gaya geser dasar seismik (V)
 $V = C_s \times W$
 $= 0,0876 \times 1644246,41 \text{ kg} = 143946 \text{ kg}$
8. Distribusi vertikal gaya gempa
Dengan interpolasi linear didapatkan nilai $k=1$ (SNI 1726-2012 pasal 7.8.3)

$$F_x = C_{vx} \times V$$

Dimana,

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum W_x \cdot h_x^k}$$

Lantai	W_x	H_x	$w_x \cdot h_x^k$	C_{vx}	V	F_x
	(kg)	(m)	(kg.m)		(kg)	(kg)
1	158387.61	0	0	0	139518.38	0
2	385198.57	3.3	1271155.287	0.109		15206.18
3	406571.49	6.87	2793146.119	0.2395		33412.97
4	393404.17	10.44	4107139.487	0.352		49131.597
Atap Σ	250111.12	13.96	3491551.302	0.299		41767.63
	1593672.96		11662992.2			139518.375

Tabel 18. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Cek Gaya Geser

$$V = F_0 + F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$139518.38 \text{ kg} = 139518.38 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

9. Beban gempa per kolom

Lantai	Pusat massa		Pusat kekakuan		Eksentrisitas	
	x	y	x	y	x	y
1	14.64	6.55	15.00	6.17	0.3587	0.3834
2	14.939	6.273	15.00	6.17	0.0607	0.1059
3	14.84	5.81	15.00	6.17	0.1582	0.3594
4	14.84	5.81	15.00	6.17	0.1585	0.3600
Atap	14.163	5.857	15.09	5.23	0.9267	0.6262

Tabel 19. Pusat Massa, Pusat Kekakuan, dan Eksentrisitas

Lantai 1

Eksentrisitas X = 0,4149 m

Eksentrisitas Y = 0,2683 m

M_x = Eksentrisitas X (F_1)
 = 0,4149 m (186567,40 kg)
 = 77406,81 kgm

M_y = 0,2683 m (186567,40 kg)
 = 50056,03 kgm

Tabel 20. Gaya Gempa per Kolom Lantai 1

Tipe	AS	Dimensi		Bentang	BJ Beton	Berat	Jarak ke X ₀	Jarak ke Y ₀	Berat Total	
		B	H			W	(x)	(y)	W.x	W.y
		(m)	(m)	(m)	(kg/m ³)	(kg)	(m)	(m)	(kg.m)	(kg.m)
h1	1B	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	0	1	0	1267,2
	1C	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	0	6,5	0	8236,8
	1D	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	0	11	0	13939,2
	2B	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	5	1	6336	1267,2
	2C	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	5	6,5	6336	8236,8
	2D	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	5	11	6336	13939,2
	3B	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	10	1	12672	1267,2
	3C	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	10	6,5	12672	8236,8
	3D	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	10	11	12672	13939,2
	4B	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	15	1	19008	1267,2
	4C	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	15	6,5	19008	8236,8
	4D	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	15	11	19008	13939,2
	5B	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	20	1	25344	1267,2
	5C	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	20	6,5	25344	8236,8
	5D	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	20	11	25344	13939,2
	6B	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	25	1	31680	1267,2
	6C	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	25	6,5	31680	8236,8
	6D	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	25	11	31680	13939,2
	7B	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	30	1	38016	1267,2
	7C	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	30	6,5	38016	8236,8
	7D	0,4	0,4	3,3	2400	1267,2	30	11	38016	13939,2
	Σ					26611,2			399168	164102,4

Lantai 2

Eksentrisitas X = 0,2386 m

Eksentrisitas Y = 0,3537 m

$$M_x = \text{Eksentrisitas X (F}_2\text{)}$$

$$= 0,2386 \text{ m (385787,21 kg)}$$

$$= 92048,83 \text{ kgm}$$

$$M_y = \text{Eksentrisitas Y (F}_2\text{)}$$

$$= 0,3537 \text{ m (385787,21 kg)}$$

$$= 136452,94 \text{ kgm}$$
Tabel 21. Gaya Gempa per Kolom Lantai 2

Tipe	AS	Dimensi		Bentang (m)	BJ Beton (kg/m ³)	Berat W (kg)	Jarak ke X _o (x) (m)	Jarak ke Y _o (y) (m)	Berat Total	
		B	H						W.x	W.y
		(m)	(m)						(kg.m)	(kg.m)
h2	1B	0,4	0,4	2	2400	768	0	1	0	768
	1C	0,4	0,4	2	2400	768	0	6,5	0	4992
	1D	0,4	0,4	2	2400	768	0	11	0	8448
	2B	0,4	0,4	2	2400	768	5	1	3840	768
	2C	0,4	0,4	2	2400	768	5	6,5	3840	4992
	2D	0,4	0,4	2	2400	768	5	11	3840	8448
	3B	0,4	0,4	2	2400	768	10	1	7680	768
	3C	0,4	0,4	2	2400	768	10	6,5	7680	4992
	3D	0,4	0,4	2	2400	768	10	11	7680	8448
	4B	0,4	0,4	2	2400	768	15	1	11520	768
	4C	0,4	0,4	2	2400	768	15	6,5	11520	4992
	4D	0,4	0,4	2	2400	768	15	11	11520	8448
	5B	0,4	0,4	2	2400	768	20	1	15360	768
	5C	0,4	0,4	2	2400	768	20	6,5	15360	4992
	5D	0,4	0,4	2	2400	768	20	11	15360	8448
	6B	0,4	0,4	2	2400	768	25	1	19200	768
	6C	0,4	0,4	2	2400	768	25	6,5	19200	4992
	6D	0,4	0,4	2	2400	768	25	11	19200	8448
	7B	0,4	0,4	2	2400	768	30	1	23040	768
	7C	0,4	0,4	2	2400	768	30	6,5	23040	4992
	7D	0,4	0,4	2	2400	768	30	11	23040	8448
	Σ					16128			241920	99456

Lantai 3

Eksentrisitas X = 0,7157 m

Eksentrisitas Y = 0,0254 m

$$M_x = \text{Eksentrisitas X (F}_3\text{)}$$

$$= 0,7157 \text{ m (402800,90 kg)}$$

$$= 288284,60 \text{ kgm}$$

$$M_y = \text{Eksentrisitas Y (F}_3\text{)}$$

$$= 0,0254 \text{ m (402800,90 kg)}$$

$$= 10231,14 \text{ kgm}$$

Tabel 22. Gaya Gempa per Kolom Lantai 3

Tipe	AS	Dimesi		Bentang	BJ Beton	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	Berat Total	
		B	H			W	(x)	(y)	W.x	W.y
		(m)	(m)	(m)	(kg/m³)	(kg)	(m)	(m)	(kg.m)	(kg.m)
h3	1B	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	0	1	0	1370,88
	1C	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	0	6,5	0	8910,72
	1D	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	0	11	0	15079,68
	2B	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	5	1	6854,4	1370,88
	2C	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	5	6,5	6854,4	8910,72
	2D	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	5	11	6854,4	15079,68
	3B	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	10	1	13708,8	1370,88
	3C	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	10	6,5	13708,8	8910,72
	3D	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	10	11	13708,8	15079,68
	4B	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	15	1	20563,2	1370,88
	4C	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	15	6,5	20563,2	8910,72
	4D	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	15	11	20563,2	15079,68
	5B	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	20	1	27417,6	1370,88
	5C	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	20	6,5	27417,6	8910,72
	5D	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	20	11	27417,6	15079,68
	6B	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	25	1	34272	1370,88
	6C	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	25	6,5	34272	8910,72
	6D	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	25	11	34272	15079,68
	7B	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	30	1	41126,4	1370,88
	7C	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	30	6,5	41126,4	8910,72
	7D	0,4	0,4	3,57	2400	1370,88	30	11	41126,4	15079,68
	Σ					28788,48			431827,2	177529

Lantai 4

$$\text{Eksentrisitas X} = 0,7167 \text{ m}$$

$$\text{Eksentrisitas Y} = 0,0255 \text{ m}$$

$$M_x = \text{Eksentrisitas X (F}_4\text{)}$$

$$= 0,7167 \text{ m (389438,64 kg)}$$

$$= 279110,67 \text{ kgm}$$

$$M_y = \text{Eksentrisitas Y (F}_4\text{)}$$

$$= 0,0255 \text{ m (389438,64 kg)}$$

$$= 9930,685 \text{ kgm}$$

Tabel 23. Gaya Gempa per Kolom Lantai 4

Tipe	AS	Dimesi		Bentang	BJ Beton	Berat	Jarak ke X _o	Jarak ke Y _o	Berat Total	
		B	H			W	(x)	(y)	W _x	W _y
		(m)	(m)	(m)	(kg/m ³)	(kg)	(m)	(m)	(kg.m)	(kg.m)
h4	1B	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	0	1	0	1351,68
	1C	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	0	6,5	0	8785,92
	1D	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	0	11	0	14868,48
	2B	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	5	1	6758,4	1351,68
	2C	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	5	6,5	6758,4	8785,92
	2D	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	5	11	6758,4	14868,48
	3B	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	10	1	13516,8	1351,68
	3C	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	10	6,5	13516,8	8785,92
	3D	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	10	11	13516,8	14868,48
	4B	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	15	1	20275,2	1351,68
	4C	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	15	6,5	20275,2	8785,92
	4D	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	15	11	20275,2	14868,48
	5B	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	20	1	27033,6	1351,68
	5C	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	20	6,5	27033,6	8785,92
	5D	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	20	11	27033,6	14868,48
	6B	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	25	1	33792	1351,68
	6C	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	25	6,5	33792	8785,92
	6D	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	25	11	33792	14868,48
	7B	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	30	1	40550,4	1351,68
	7C	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	30	6,5	40550,4	8785,92
	7D	0,4	0,4	3,52	2400	1351,68	30	11	40550,4	14868,48
	Σ					28385,28			425779,2	175042,6

4.4 Perhitungan Struktur Sekunder

Untuk pelat 2 arah, perhitungan momen yang terjadi dihitung dengan menggunakan tabel PBI (Peraturan Beton Bertulang Indonesia) 1971 dengan rumus $M = 0,001(Q_u)(L_x^2)X$. Untuk pelat 1 arah, perhitungan momen yang terjadi dihitung dengan SNI 2847-2013 pasal 8.

4.4.1 Pelat Lantai

Pelat lantai yang akan ditinjau pada perhitungan ini adalah pelat lantai 2 dengan ukuran 5m x 3m.

- Data-data perencanaan:

Tipe pelat	= P1
Mutu beton (f _c)	= 30 Mpa
Mutu baja tul. lentur (f _y)	= 400 Mpa
Mutu baja tul. geser (f _y)	= 320 Mpa
β	= 0,85
φ	= 0,9
b	= 1000 mm

$$\begin{aligned}
 L_y &= 5 \text{ m} \\
 L_x &= 3 \text{ m} \\
 \text{Tebal pelat} &= 12 \text{ cm} \\
 \text{Tebal decking} &= 30 \text{ mm} \\
 \text{Ø tulangan rencana} &= 10 \text{ mm (arah X)} \\
 &= 8 \text{ mm (arah Y)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_x &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - \left(\frac{1}{2} d_{\text{rencana}}\right) \\
 d_x &= 120 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 5 \text{ mm} = 85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_y &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - d_{\text{rencana}} - \left(\frac{1}{2} d_{\text{rencana}}\right) \\
 d_y &= 120 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - 4 \text{ mm} = 78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,0018 \quad (\text{SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1(b)})$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85(30)0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 \rho_{\max} &= 0,0244
 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85(30)} = 15,69$$

Rasio perbandingan bentang pelat (L_y/L_x)

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{5 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 1,7 \leq 2 \quad (\text{pelat 2 arah})$$

Pembebanan pada pelat

Beban Ultimate (Q_u) per lantai

Total Beban	Q_u per Lantai (kg/m^2)			
	2	3	4	Atap
Mati (DL)	838	838	359	96

Total Beban	Qu per Lantai (kg/m ²)			
	2	3	4	Atap
Hidup (LL)	416	416	416	357
Ultimate (Qu)	1671,2	1671,2	1096,4	686,4

Momen untuk lantai 2

Letak Momen		X	Qu kg/m ²	Lx	Momen (kgm) 0,001(Qu)Lx ² (X)
Lapangan	MI _x	59	1671,2	3	887,41
	MI _y	36			541,47
Tumpuan	Mt _x	59			887,41
	Mt _y	36			541,47

Sumber: PBI 1971

- **Penulangan pelat arah X (MI_x = Mt_x)**

$$M_u = 8874072 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{8874072 \text{ Nmm}}{0,9} = 9860080 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b(d_x)^2} = \frac{8874072 \text{ Nmm}}{(1000 \text{ mm})(85 \text{ mm})^2}$$

$$R_n = 1,36 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)1,36}{400 \text{ Mpa}}} \right) = 0,0035$$

Cek syarat $\rho > \rho_{\min}$:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0018 > 0,0035 < 0,0244 \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$ untuk menghitung $A_{s_{\text{perlu}}}$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho (b) d_x$$

$$As_{perlu} = 0,0035 (1000 \text{ mm}) 85 \text{ mm}$$

$$As_{perlu} = 298,208 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan $S_{maks} > 2h$

$$S_{maks} = 2h = 2(120 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

Jarak spasi antar tulangan adalah:

$$S_{tul} = \frac{1}{4} \left(\frac{\pi D^2 b}{As_{perlu}} \right)$$

$$S_{tul} = \frac{1}{4} \left(\frac{\pi (10 \text{ mm})^2 1000 \text{ mm}}{298,208 \text{ mm}^2} \right)$$

$$S_{tul} = 263,37 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{maks} \geq S_{tul} = 240 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

Menghitung As_{pakai}

$$As_{pakai} = \frac{0,25 \pi D^2 b}{S_{tul}}$$

$$As_{pakai} = \frac{0,25 \pi (10 \text{ mm})^2 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$As_{pakai} = 392,699 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan:

$$As_{pakai} > As_{perlu} = 392,699 \text{ mm}^2 > 298,208 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(OK)}$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai tumpuan arah X digunakan **Ø10-200 mm**.

- **Penulangan pelat arah Y ($M_{ly} = M_{ty}$)**

$$M_u = 54146882 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{54146882 \text{ Nmm}}{0,9} = 6016320 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b(d_y)^2} = \frac{6016320 \text{ Nmm}}{(1000 \text{ mm})(78 \text{ mm})^2}$$

$$R_n = 0,99 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)0,99}{400}} \right) = 0,0025$$

Cek syarat $\rho > \rho_{\min}$:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0018 < 0,0025 < 0,0244 \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan $\rho = 0,0025$ untuk menghitung As_{perlu}

$$As_{\text{perlu}} = \rho (b) d_y$$

$$As_{\text{perlu}} = 0,0025 (1000 \text{ mm}) 78 \text{ mm}$$

$$As_{\text{perlu}} = 196,722 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan $S_{\max} > 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2h = 2(120 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

Jarak spasi antar tulangan adalah:

$$S_{\text{tul}} = \frac{1}{4} \left(\frac{\pi D^2 b}{As_{\text{perlu}}} \right)$$

$$S_{\text{tul}} = \frac{1}{4} \left(\frac{\pi (8 \text{ mm})^2 1000 \text{ mm}}{196,722 \text{ mm}^2} \right)$$

$$S_{\text{tul}} = 255,52 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{tul}} = 240 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Menghitung As_{pakai}

$$As_{\text{pakai}} = \frac{0,25 \pi D^2 b}{S_{\text{tul}}}$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{0,25\pi(8 \text{ mm})^2 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}}$$

$$A_{s_{pakai}} = 335,103 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan:

$$A_{s_{pakai}} > A_{s_{perlu}}$$

$$335,103 \text{ mm}^2 > 196,722 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai tumpuan arah Y digunakan **Ø8-150 mm**.

- **Kontrol lendutan dan retak beton**

Tabel penulangan pelat lantai 2

	Momen	Diameter (Ø)	Jarak (mm)
P1	M _{Lx}	10	200
	M _{Ly}	8	150
	M _{Tx}	10	200
	M _{Ty}	8	150

Modulus elastisitas beton (E_c)

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 4700\sqrt{30 \text{ Mpa}}$$

$$E_c = 25742,96 \text{ Mpa}$$

Modulus elastisitas baja (E_s)

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

Rasio modulus elastisitas (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000 \text{ Mpa}}{25742,96 \text{ Mpa}} = 7,77$$

Batas lendutan maksimalk (Δ_{ijin})

$$\Delta_{ijin} = \frac{L_x}{240} = \frac{3000 \text{ mm}}{240} = 12,5 \text{ mm}$$

Momen inersia pelat (I_g)

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1000 \text{ mm})(120 \text{ mm})^3}{12}$$

$$I_g = 144000000 \text{ mm}^4$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas (c)

$$c = n \frac{A_{spakai}}{b} = 7,77 \frac{392,699 \text{ mm}^2}{1000 \text{ mm}} = 3,05 \text{ mm}$$

Momen inersia penampang retak (I_{cr})

$$I_{cr} = \frac{E_s}{E_c} \left(A_s + \frac{P_u}{f_y} \frac{h}{2d} \right) (d_x - c)^2 + \frac{L_x c^2}{3}$$

$$I_{cr} = 7,77(392,699 + 0)(81,95)^2 + \frac{3000(3,05)^2}{3}$$

$$I_{cr} = 20490653,28 \text{ mm}^4$$

Beban terfaktor merata (Q_u)

$$Q_u = 1671,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Q_u = 0,016712 \text{ N/mm}^2$$

Momen maksimum (M_a)

$$M_a = \frac{1}{8} Q_u L_x^2$$

$$M_a = \frac{1}{8} \left(1671,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) (3 \text{ m})^2 = 1880,1 \text{ kgm}$$

$$M_a = 18801000 \text{ Nmm}$$

Modulus keruntuhan beton (f_r)

$$f_r = 0,62 \lambda \sqrt{f'_c}$$

$$f_r = 0,62(1) \sqrt{30 \text{ Mpa}} = 3,4 \text{ Mpa}$$

Momen retak (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{3,4 \text{ Mpa}(144000000 \text{ mm}^4)}{120 \text{ mm}/2}$$

$$M_{cr} = 8160000 \text{ Nmm}$$

Momen inersia (I_e)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr}$$

$$I_e = \left(\frac{8160000 \text{ Nmm}}{18801000 \text{ Nmm}}\right)^3 144000000 \text{ mm}^4 + \left[1 - \left(\frac{8160000 \text{ Nmm}}{18801000 \text{ Nmm}}\right)^3\right] (20490653,28 \text{ mm}^4)$$

$$I_e = 30588469,27 \text{ mm}^4$$

Lendutan elastis (δ_e)

$$\delta_e = \frac{5}{384} \left(\frac{Q_u L_x^4}{E_c I_e} \right)$$

$$\delta_e = \frac{5}{384} \left(\frac{0,016712 \text{ N/mm}^2 (3000 \text{ mm})^4}{(25742,96 \text{ Mpa}) (30588469,27 \text{ mm}^4)} \right)$$

$$\delta_e = 0,0224 \text{ mm}$$

Rasio tulangan slab lantai (ρ)

$$\rho = \frac{A_s}{b(d_x)}$$

$$\rho = \frac{392,699 \text{ mm}^2}{(1000 \text{ mm})(85 \text{ mm})}$$

$$\rho = 0,00462$$

Faktor ketergantungan waktu ≥ 5 tahun

$$\xi = 2$$

$$\lambda = \frac{\xi}{(1 + 50\rho)}$$

$$\lambda = \frac{2}{(1 + (50)0,00462)}$$

$$\lambda = 1,625$$

Lendutan jangka waktu 5 tahun

$$\delta_g = \lambda \frac{5}{384} \left(\frac{Q_u L_x^4}{E_c I_e} \right)$$

$$\delta_g = 1,625 \frac{5}{384} \left(\frac{0,016712 \frac{N}{mm^2} (3000 \text{ mm})^4}{(25742,96 \text{ Mpa}) 30588469,27 \text{ mm}^4} \right)$$

$$\delta_g = 0,0364$$

Lendutan total

$$\delta_{total} = \delta_e + \delta_g$$

$$\delta_{total} = 0,0224 \text{ mm} + 0,0364 \text{ mm}$$

$$\delta_{total} = 0,059 \text{ mm}$$

Cek syarat:

$$\delta_{total} < \Delta_{ijin} = 0,059 \text{ mm} < 12,5 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tegangan ijin pada tulangan (f_s)

$$f_s = 0,6 f_y$$

$$f_s = 0,6(400 \text{ Mpa}) = 240 \text{ Mpa}$$

$$d_c = t_{selimut} - \frac{1}{2} d_{tulangan}$$

$$d_c = 30 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \right) 10 \text{ mm}$$

$$d_c = 25 \text{ mm}$$

Luas efektif beton tarik (A_e)

$$A_e = 2(d_c) s_{tul}$$

$$A_e = 2(25 \text{ mm})(200 \text{ mm})$$

$$A_e = 10000 \text{ mm}^2$$

Nilai lebar retak (ω)

$$\omega = 11(10^{-6}) \beta f_s^3 \sqrt[3]{d_c A_e}$$

$$\omega = 11(10^{-6}) 0,85(240 \text{ Mpa})^3 \sqrt[3]{25 \text{ mm}(10000 \text{ mm}^2)}$$

$$\omega = 0,141 \text{ mm}$$

Cek syarat:

$$\omega < 0,4 \text{ mm} = 0,141 \text{ mm} < 0,4 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.4.2 A Pelat Atap

Pelat lantai yang akan ditinjau pada perhitungan ini adalah pelat lantai atap dengan ukuran 5m x 3m.

- Data-data perencanaan:

Tipe pelat	= P1
Mutu beton (f_c')	= 30 Mpa
Mutu baja tul. lentur (f_y)	= 400 Mpa
Mutu baja tul. geser (f_y)	= 320 Mpa
β	= 0,85
ϕ	= 0,9
b	= 1000 mm
L_y	= 5 m
L_x	= 3m
Tebal pelat	= 12 cm
Tebal decking	= 30 mm
Ø tulangan rencana	= 10 mm (arah X)
	= 8 mm (arah Y)

$$d_x = t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - \left(\frac{1}{2} d_{\text{rencana}}\right)$$

$$d_x = 120 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 5 \text{ mm} = 85 \text{ mm}$$

$$d_y = t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - d_{\text{rencana}} - \left(\frac{1}{2} d_{\text{rencana}}\right)$$

$$d_y = 120 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - 4 \text{ mm} = 78 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = 0,0018$$

(SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1(b))

$$\rho_{\max} = 0,75 \left(\frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \left(\frac{0,85(30)0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c'} = \frac{400}{0,85(30)} = 15,69$$

Rasio perbandingan bentang pelat (L_y/L_x)

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{5m}{3m} = 1,7 \leq 2 \quad (\text{pelat 2 arah})$$

Pembebanan pada pelat

Beban Ultimate (Q_u) per lantai

Total Beban	Q_u per Lantai (kg/m^2)			
	2	3	4	Atap
Mati (DL)	838	838	359	96
Hidup (LL)	416	416	416	357
Ultimate (Q_u)	1671,2	1671,2	1096,4	686,4

Momen untuk lantai 2

Letak Momen		X	Qu	Lx	Momen (kgm)
			kg/m^2		$0,001(Q_u)L_x^2(X)$
Lapangan	M_{l_x}	59	686,4	3	364,48
	M_{l_y}	36			222,39
Tumpuan	M_{t_x}	59			364,48
	M_{t_y}	36			222,39

Sumber: PBI 1971

- **Penulangan pelat arah X ($M_{l_x} = M_{t_x}$)**

$$M_u = 3644784 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{3644784 \text{ Nmm}}{0,9} = 4287981 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b(d_x)^2} = \frac{4287981 \text{ Nmm}}{(1000 \text{ mm})(85 \text{ mm})^2}$$

$$R_n = 0,59 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)0,59}{400}} \right) = 0,0015$$

Cek syarat $\rho > \rho_{\min}$:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0018 > 0,0015 < 0,0244 \quad (\text{OK})$$

Karena nilai $\rho < \rho_{\min}$ maka nilai ρ diperbesar 30% sehingga:

$$\rho = 30\% \rho + \rho = 0,3(0,0015) + 0,0015 = 0,0020$$

Maka digunakan $\rho = 0,0020$ untuk menghitung $A_{s_{\text{perlu}}}$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho(b)d_x$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,0020 (1000 \text{ mm}) 85 \text{ mm}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 165,91 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2h = 2(120 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

Jarak spasi antar tulangan adalah:

$$S_{\text{tul}} = \frac{1}{4} \left(\frac{\pi D^2 b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \right)$$

$$S_{\text{tul}} = \frac{1}{4} \left(\frac{\pi (10 \text{ mm})^2 1000 \text{ mm}}{165,91 \text{ mm}^2} \right)$$

$$S_{\text{tul}} = 473,40 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{tul}} = 240 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Menghitung $A_{s_{\text{pakai}}}$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \pi D^2 b}{S_{\text{tul}}}$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \pi (10 \text{ mm})^2 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = 392,699 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan:

$$A_{s_{pakai}} > A_{s_{perlu}} = 392,699 \text{ mm}^2 > 165,91 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai tumpuan arah X digunakan **Ø10-200 mm**.

- **Penulangan pelat arah Y ($M_{ly} = M_{ty}$)**

$$M_n = 2223936 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2223936 \text{ Nmm}}{0,9} = 2616395 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b(d_y)^2} = \frac{2616395 \text{ Nmm}}{(1000 \text{ mm})(78 \text{ mm})^2}$$

$$R_n = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)0,43}{400}} \right) = 0,0011$$

Cek syarat $\rho > \rho_{\min}$:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0018 > 0,0011 < 0,0244 \quad (\text{OK})$$

Karena nilai $\rho_{\min} > \rho$, maka nilai ρ diperbesar 30%

$$\rho = 30\% \rho + \rho = 0,3(0,0011) + 0,0011 = 0,0014$$

Setelah diperbesar nilai ρ masih lebih kecil dari ρ_{\min} sehingga nilai ρ yang dipakai adalah ρ_{\min}

Maka digunakan $\rho = 0,0018$ untuk menghitung $A_{s_{perlu}}$

$$A_{s_{perlu}} = \rho (b) d_y$$

$$A_{s_{perlu}} = 0,0018 (1000 \text{ mm}) 78 \text{ mm}$$

$$A_{s_{perlu}} = 140,40 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{maks} \leq 2h$
 $S_{maks} = 2h = 2(120 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$

Jarak spasi antar tulangan adalah:

$$S_{tul} = \frac{1}{4} \left(\frac{\pi D^2 b}{A_{s_{perlu}}} \right)$$

$$S_{tul} = \frac{1}{4} \left(\frac{\pi (8 \text{ mm})^2 1000 \text{ mm}}{140,40 \text{ mm}^2} \right)$$

$$S_{tul} = 358,02 \text{ mm} \approx 175 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{maks} \geq S_{tul} = 240 \text{ mm} \geq 175 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Menghitung $A_{s_{pakai}}$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{0,25 \pi D^2 b}{S_{tul}}$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{0,25 \pi (8 \text{ mm})^2 1000 \text{ mm}}{175 \text{ mm}}$$

$$A_{s_{pakai}} = 287,231 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan:

$$A_{s_{pakai}} > A_{s_{perlu}} = 287,231 \text{ mm}^2 > 140,40 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai tumpuan arah Y digunakan **Ø8-175 mm**.

- **Kontrol lendutan dan retak beton**

Tabel penulangan pelat lantai 2

Tipe Pelat	Momen	Diameter (Ø)	Jarak (mm)
P1	M_{Lx}	10	200
	M_{Ly}	8	175
	M_{Tx}	10	200
	M_{Ty}	8	175

Modulus elastisitas beton (E_c)

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 4700\sqrt{30 \text{ Mpa}}$$

$$E_c = 25742,96 \text{ Mpa}$$

Modulus elastisitas baja (E_s)

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

Rasio modulus elastisitas (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000 \text{ Mpa}}{25742,96 \text{ Mpa}} = 7,77$$

Batas lendutan maksimum (Δ_{ijin})

$$\Delta_{ijin} = \frac{L_x}{240} = \frac{3000 \text{ mm}}{240} = 12,5 \text{ mm}$$

Momen inersia pelat (I_g)

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1000 \text{ mm})(120 \text{ mm})^3}{12}$$

$$I_g = 144000000 \text{ mm}^4$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas (c)

$$c = n \frac{A_{spakai}}{b} = 7,77 \frac{392,699 \text{ mm}^2}{1000 \text{ mm}} = 3,05 \text{ mm}$$

Momen inersia penampang retak (I_{cr})

$$I_{cr} = \frac{E_s}{E_c} \left(A_s + \frac{P_u}{f_y} \frac{h}{2d} \right) (d_x - c)^2 + \frac{L_x c^2}{3}$$

$$I_{cr} = 7,77(392,5 + 0)(71,95)^2 + \frac{3000(3,05)^2}{3}$$

$$I_{cr} = 15797126,50 \text{ mm}^4$$

Beban terfaktor merata (Q_u)

$$Q_u = 686,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Q_u = 0,006864 \text{ N/mm}^2$$

Momen maksimum (M_a)

$$M_a = \frac{1}{8} Q_u L_x^2$$

$$M_a = \frac{1}{8} \left(686,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) (3 \text{ m})^2 = 772,2 \text{ kgm}$$

$$M_a = 7722000 \text{ Nmm}$$

Modulus keruntuhan beton (f_r)

$$f_r = 0,62 \lambda \sqrt{f_c'}$$

$$f_r = 0,62(1) \sqrt{30 \text{ Mpa}} = 3,4 \text{ Mpa}$$

Momen retak (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{3,4 \text{ Mpa} (144000000 \text{ mm}^4)}{120 \text{ mm}/2}$$

$$M_{cr} = 8160000 \text{ Nmm}$$

Momen inersia (I_e)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$I_e = \left(\frac{8160000 \text{ Nmm}}{18801000 \text{ Nmm}} \right)^3 144000000 \text{ mm}^4 +$$

$$\left[1 - \left(\frac{8160000 \text{ Nmm}}{18801000 \text{ Nmm}} \right)^3 \right] (15797126,50 \text{ mm}^4)$$

$$I_e = 26278673,54 \text{ mm}^4$$

Lendutan elastis (δ_e)

$$\delta_e = \frac{5}{384} \left(\frac{Q_u L_x^4}{E_c I_e} \right)$$

$$\delta_e = \frac{5}{384} \left(\frac{0,006864 \text{ N/mm}^2 (3000 \text{ mm})^4}{(25742,96 \text{ Mpa}) 26278673,54 \text{ mm}^4} \right)$$

$$\delta_e = 0,0107 \text{ mm}$$

Rasio tulangan slab lantai (ρ)

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho = \frac{392,5 \text{ mm}^2}{(1000 \text{ mm})(78 \text{ mm})}$$

$$\rho = 0,00523$$

Faktor ketergantungan waktu ≥ 5 tahun

$$\xi = 2$$

$$\lambda = \frac{\xi}{(1 + 50\rho)^2}$$

$$\lambda = \frac{2}{(1 + (50)0,00523)}$$

$$\lambda = 1,585$$

Lendutan jangka waktu 5 tahun

$$\delta_g = \lambda \frac{5}{384} \left(\frac{Q_u L_x^4}{E_c I_e} \right)$$

$$\delta_g = 1,585 \frac{5}{384} \left(\frac{0,016712 \frac{N}{\text{mm}^2} (3000 \text{ mm})^4}{(25742,96 \text{ Mpa}) 26278673,54 \text{ mm}^4} \right)$$

$$\delta_g = 0,01696$$

Lendutan total

$$\delta_{total} = \delta_e + \delta_g$$

$$\delta_{total} = 0,0107 \text{ mm} + 0,01696 \text{ mm}$$

$$\delta_{total} = 0,0277 \text{ mm}$$

Cek syarat:

$$\delta_{total} < \Delta_{ijin} = 0,0277 \text{ mm} < 12,5 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tegangan ijin pada tulangan (f_s)

$$f_s = 0,6f_y$$

$$f_s = 0,6(400 \text{ Mpa}) = 240 \text{ Mpa}$$

$$d_c = t_{selimut} - \frac{1}{2} d_{tulangan}$$

$$d_c = 30 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} 10 \text{ mm}\right)$$

$$d_c = 25 \text{ mm}$$

Luas efektif beton gtarik (A_e)

$$A_e = 2d_c s_{tul}$$

$$A_e = 2(25 \text{ mm})(200 \text{ mm})$$

$$A_e = 10000 \text{ mm}^2$$

Nilai lebar retak (ω)

$$\omega = 11(10^{-6})\beta f_s^3 \sqrt{d_c A_e}$$

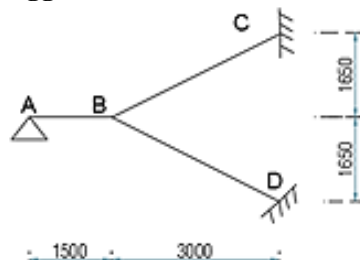
$$\omega = 11(10^{-6})0,85(240 \text{ Mpa})^3 \sqrt{25 \text{ mm}(10000 \text{ mm}^2)}$$

$$\omega = 0,141 \text{ mm}$$

Cek syarat:

$$\omega < 0,4 \text{ mm} = 0,141 \text{ mm} < 0,4 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.4.3 Pelat Tangga dan Bordes



Data-Data Perencanaan

Mutu beton	: 30 Mpa
Mutu baja tulangan lentur (f_y)	: 400 Mpa
Tebal rencana pelat tangga	: 15 cm
Tebal rencana pelat bordes	: 15 cm
Diameter tulangan rencana	: 10 mm
Lebar injakan (i)	: 30 cm
Tinggi injakan (t)	: 15 cm

Panjang datar tangga	: 300 cm
Tinggi tangga	: 330 cm
Lebar tangga	: 147,5 cm
Tinggi bordes	: 165 cm
Lebar bordes	: 150 cm
Panjang bordes	: 300 cm
Tebal selimut beton	: 20 mm

Perhitungan Perencanaan

Jumlah tanjakan (n)

$$n_t = \frac{\text{tinggi tangga}}{t} = \frac{165 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} = 11 \text{ buah}$$

Jumlah injakan (i)

$$n_i = n_t - 1 = 11 \text{ buah} - 1 = 10 \text{ buah}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i} = \arctan \frac{15}{30} = 26,565^\circ$$

Cek syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq 26,565^\circ \leq 40^\circ \quad (\text{OK})$$

Syarat lebar injakan dan tinggi tanjakan

$$\begin{aligned} 60 \text{ cm} &\leq 2t+i \leq 65 \text{ cm} \\ 60 \text{ cm} &\leq 2(15 \text{ cm})+30 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm} \\ 60 \text{ cm} &\leq 60 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm} \end{aligned} \quad (\text{OK})$$

Tebal efektif pelat tangga

$$\text{Luas 1} = \frac{1}{2}(i)(t) = \frac{1}{2}(30 \text{ cm})(15 \text{ cm}) = 225 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas 2} = \frac{1}{2}d\sqrt{(i^2 + t^2)} = \frac{1}{2}d\sqrt{(30 \text{ cm})^2 + (15 \text{ cm})^2}$$

$$\text{Luas 2} = 16,7705d \text{ cm}$$

$$\text{Luas 1} = \text{Luas 2}$$

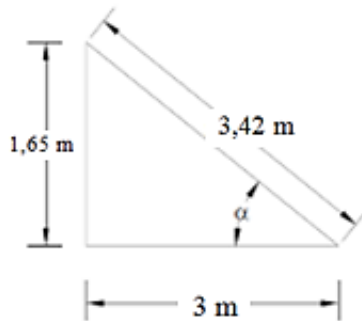
$$225 \text{ cm}^2 = 16,7705d \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} d &= 13,4164 \text{ cm} \\ \frac{1}{2} d &= 6,71 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka tebal efektif pelat tangga

$$\begin{aligned} h &= t_s + \frac{1}{2} d \\ h &= 15 \text{ cm} + 6,71 \text{ cm} \\ h &= 21,71 \text{ cm} \approx 22 \text{ cm} \end{aligned}$$

Panjang miring tangga $= \sqrt{1,65^2 + 3^2} = 3,42 \text{ m}$



$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{1,65}{3,42} = 0,482 \\ \cos \alpha &= \frac{3}{3,42} = 0,877 \end{aligned}$$

Pembebanan Pada Tangga

Beban Mati (Q_{DL})		
Berat sendiri tangga	$0,22 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	528 kg/m^2
Berat spesi ($t=2 \text{ cm}$)	$2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	42 kg/m^2
Berat keramik ($t=1 \text{ cm}$)	$1 \times 24 \text{ kg/m}^2$	24 kg/m^2
Railing	30 kg/m^2	30 kg/m^2
Total Q_{DL}		624 kg/m^2
Beban Hidup (Q_{LL})		
Anak tangga dan jalan keluar		479 kg/m^2

Total Q_{LL}	479 kg/m²
Beban Ultimate (Q_u)	
$Q_u = 1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL}$	$1,2 (624 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (479 \text{ kg/m}^2)$
Total Q_u	1515,2 kg/m²

Pembebanan Pada Bordes

Beban Mati (Q_{DL})		
Berat sendiri bordes	0,15 m x 2400 kg/m ²	360 kg/m ²
Berat spesi (t=2 cm)	2 x 21 kg/m ²	42 kg/m ²
Berat keramik (t=1 cm)	1 x 24 kg/m ²	24 kg/m ²
Railing	30 kg/m ²	30 kg/m ²
Total Q_{DL}		456 kg/m²
Beban Hidup (Q_{LL})		
Anak tangga dan jalan keluar		479 kg/m ²
Total Q_{LL}		479 kg/m²
Beban Ultimate (Q_u)		
$Q_u = 1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL}$	$1,2 (456 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (479 \text{ kg/m}^2)$	
Total Q_u		1313,6 kg/m²

Beban Merata Yang Terjadi Pada Pelat

Beban merata tangga

$$q = Q_u (L_{\text{tangga}})$$

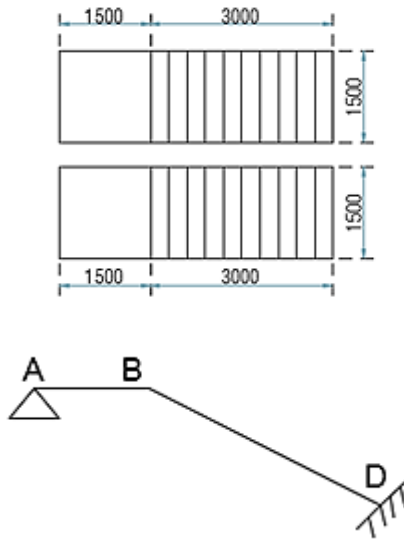
$$= 1515,2 \text{ kg/m}^2 (1,475 \text{ m}) = 2234,92 \text{ kg/m}$$

Beban merata bordes

$$q = Q_u (L_{\text{tangga}})$$

$$= 1313,6 \text{ kg/m}^2 (1,5 \text{ m}) = 1970,4 \text{ kg/m}$$

Permodelan Mektok (Metode Cross)



Faktor kekakuan

$$K_{BA} = \frac{3EI}{L} = \frac{3EI}{1,5} = 2EI$$

$$K_{BD} = \frac{4EI}{L} = \frac{4EI}{3} = 1,33EI$$

Faktor distribusi (μ)

$$\mu_{BA} = \frac{2EI}{2EI + 1,33EI} = 0,6$$

$$\mu_{BD} = \frac{1,33EI}{2EI + 1,33EI} = 0,4$$

Kontrol:

$$\Sigma \mu = 1$$

$$0,6 + 0,4 = 1$$

(OK)

Momen primer (MF)

Batang BA (bordes)

$$MF_{BA} = -\frac{qL^2}{8}$$

$$MF_{BA} = - \frac{\left(1970,4 \frac{kg}{m}\right) (1,5 \text{ m})^2}{8}$$

$$MF_{BA} = -554,175 \text{ kgm}$$

Batang BD (tangga)

$$MF_{BD} = + \frac{qL^2}{12}$$

$$MF_{BD} = + \frac{\left(2234,92 \frac{kg}{m}\right) (3 \text{ m})^2}{12}$$

$$MF_{BD} = +1676,19 \text{ kgm}$$




Batang DB (tangga)

$$MF_{DB} = - \frac{qL^2}{12}$$

$$MF_{DB} = - \frac{\left(2234,92 \frac{kg}{m}\right) (3 \text{ m})^2}{12}$$

$$MF_{DB} = -1676,19 \text{ kgm}$$

Tabel perhitungan cross

Titik	B		D
Batang	BA	BD	DB
FD	-0,6	-0,4	-
MF	-554,175	1676,19	-1676,19
MD	-673,209	-448,806	-
MI	0	0	-224,403
Momen akhir	-1227,384	1227,384	-1900,593
Arah momen			

Kontrol:

$$\Sigma M_B = 0$$

$$M_{BA} + M_{BD} = 0$$

$$-1227,384 + 1227,384 = 0 \quad \text{(OK)}$$

Gaya yang terjadi pada batang

Batang AB (bordes)

$$\begin{aligned}\Sigma M_A &= 0 && (\text{misal, } V_B \uparrow) \\ -V_B(L) + Q(1/2L) + M_{BA} &= 0 \\ -V_B(1,5 \text{ m}) + 2955,6 \text{ kg}(0,75 \text{ m}) + 1227,384 \text{ kgm} &= 0 \\ V_B &= 2296,056 \text{ kg} (\uparrow) \\ V_A &= 659,544 \text{ kg} (\uparrow)\end{aligned}$$

Batang BD (tangga)

$$\begin{aligned}\Sigma M_D &= 0 && (\text{misal, } V_B \uparrow) \\ V_B(L) - Q(1/2L) - M_{BD} + M_{DB} &= 0 \\ V_B(3 \text{ m}) - 6704,76 \text{ kg}(1,5 \text{ m}) - 1227,384 \text{ kgm} + 1900,593 \text{ kgm} &= 0 \\ V_B &= 3127,977 \text{ kg} (\uparrow) \\ V_D &= 3576,783 \text{ kg} (\uparrow)\end{aligned}$$

Momen Maksimal**Batang DB**

$$\begin{aligned}D &= 0 \\ 0 &= -V_D + q(x) \\ 0 &= -3576,783 \text{ kg} + 2234,92 \text{ kg/m}(x) \\ x &= 1,60 \text{ m (dari titik D)}\end{aligned}$$

Momen maksimal yang terjadi

$$\begin{aligned}M_{\text{Max}} &= +V_D(x) - q(x)(1/2x) \\ M_{\text{Max}} &= +3576,783 \text{ kg}(1,60 \text{ m}) - (2234,92 \text{ kg/m})(1,60 \text{ m})(1/2)(1,60 \text{ m}) \\ M_{\text{Max}} &= +2850,6352 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Untuk momen yang ditinjau menggunakan program bantu SAP 2000, didapatkan nilai sebagai berikut:

Untuk tangga

$$\begin{aligned}M11 &= 3253,72 \text{ kgm} \\ M22 &= 3416,85 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Untuk bordes

$$\begin{aligned}M11 &= 2734,48 \text{ kgm} \\ M22 &= 4625,98 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Maka momen yang ditinjau untuk perhitungan penulangan adalah yang terbesar antara hasil perhitungan manual dan program bantu SAP 2000, maka didapat nilai:

Momen pelat tangga = 3097,04 kgm

Momen pelat bordes = 5205,53 kgm

Perhitungan Penulangan

Tebal decking = 20 mm

D tulangan rencana = 13 mm

Tebal pelat tangga = 15 cm

Tinggi manfaat =

Pelat tangga

$$\begin{aligned}d_x &= t_{\text{pelat}} + t_{\text{decking}} + (1/2 D_{\text{tul. rencana}}) \\&= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (1/2) 13 \text{ mm} \\&= 123,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d_y &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - D_{\text{tul. rencana}} - (1/2 D_{\text{tul. rencana}}) \\&= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (1/2) 10 \text{ mm} \\&= 110,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Pelat bordes

$$\begin{aligned}d_x &= t_{\text{pelat}} + t_{\text{decking}} + (1/2 D_{\text{tul. rencana}}) \\&= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (1/2) 10 \text{ mm} \\&= 123,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d_y &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - D_{\text{tul. rencana}} - (1/2 D_{\text{tul. rencana}}) \\&= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (1/2) 10 \text{ mm} \\&= 110,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\&= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\&= 0,0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\&= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 30 \text{ MPa} \cdot 0,85}{400 \text{ MPa}} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\&= 0,0244\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\&= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 30 \text{ MPa}} \\&= 15,69\end{aligned}$$

Penulangan bordesArah X

$$Mu = 2734,48 \text{ kgm} = 27344800 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{27344800}{0,9} = 30383111 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{(b)d^2} = \frac{30383111 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} (123,5 \text{ mm})^2} = 1,99$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)1,99}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,005$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,005 < 0,0244 \quad (\text{OK})$$

$$As_{\text{perlu}} = \rho (b) d = 0,005 (1000 \text{ mm}) 123,5 \text{ mm} = 641,149 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2(150 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 300 \text{ mm}$$

Maka, dipakai tulangan **Ø13**Menghitung jarak tulangan

$$S_{tul} = \frac{\frac{1}{4} \pi (D^2) b}{As_{\text{perlu}}}$$

$$S_{tul} = \frac{\frac{1}{4} \pi (13 \text{ mm})^2 (1000 \text{ mm})}{641,149 \text{ mm}}$$

$$S_{tul} = 206,92 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

Maka, dipakai **S = 200 mm**Kontrol jarak tulangan

$$S_{\max} > S_{tul}$$

300 mm > 200 mm (OK)

Tulangan yang dipakai **Ø13-200 mm**

Syarat luas tulangan:

$$A_{s_{pakai}} > A_{s_{perlu}}$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{\frac{1}{4}\pi(D^2)b}{s} > A_{s_{perlu}}$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{\frac{1}{4}\pi(13\text{ mm})^2(1000\text{ mm})}{200} > A_{s_{perlu}}$$

$$663,325\text{ mm}^2 > 641,149\text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat bordes tumpuan arah X digunakan **Ø13-200 mm**.

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{0,25\pi d^2}$$

$$n = \frac{663,325\text{ mm}^2}{0,25\pi(13\text{ mm})^2}$$

$$n = 5\text{ buah}$$

Jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S &= n_{\text{tulangan}} (S_{\text{tulangan}}) \\ &= 5\text{ buah} (200\text{ mm}) \\ &= 1000\text{ mm} \end{aligned}$$

Arah Y

$$M_u = 4625,98\text{ kgm} = 46259800\text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{46259800}{0,9} = 51399777,78\text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{(b)d^2} = \frac{51399777,78\text{ Nmm}}{1000\text{ mm} (110,5\text{ mm})^2} = 4,21$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)4,21}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,012$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,012 < 0,0244 \quad (\text{OK})$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho (b) d = 0,012 (1000 \text{ mm}) 110,5 \text{ mm} = 1279 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2(150 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 300 \text{ mm}$$

Maka, dipakai tulangan **Ø16**

Menghitung jarak tulangan

$$S_{tul} = \frac{\frac{1}{4} \pi (D^2) b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S_{tul} = \frac{\frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 (1000 \text{ mm})}{1279 \text{ mm}}$$

$$S_{tul} = 157,23 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Maka, dipakai **S = 150 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{\max} > S_{tul}$$

$$300 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan yang dipakai **Ø16-150 mm**

Syarat luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{\frac{1}{4} \pi (D^2) b}{s} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$A_{spakai} = \frac{\frac{1}{4}\pi(16 \text{ mm})^2(1000 \text{ mm})}{150} > A_{spertu}$$

$$1339,73 \text{ mm}^2 > 1279 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat bordes tumpuan arah Y digunakan **Ø16-150 mm**.

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{0,25\pi d^2}$$

$$n = \frac{1339,73 \text{ mm}^2}{0,25\pi(16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 7 \text{ buah}$$

Jarak spasi tulangan

$$S = n_{\text{tulangan}} (S_{\text{tulangan}})$$

$$= 7 \text{ buah } (200 \text{ mm})$$

$$= 1050 \text{ mm}$$

Penulangan Tangga

Arah X

$$M_u = 3253,72 \text{ kgm} = 32537200 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{32537200 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 36152444 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b(d^2)} = \frac{36152444 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm}(123,5 \text{ mm})^2} = 2,37$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)2,37}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0062$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0062 < 0,0244 \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai $\rho = 0,00623$ sehingga,

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho(b)d \\ &= 0,00623 (1000 \text{ mm}) 123,5 \text{ mm} \\ &= 769,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2(150 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 300 \text{ mm}$$

Maka, dipakai tulangan **Ø13**

Menghitung jarak tulangan

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi (D^2) b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi (13 \text{ mm})^2 (1000 \text{ mm})}{769,43 \text{ mm}^2}$$

$$S = 172,42 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Maka, dipakai **S = 150 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{\max} > S_{\text{tul}}$$

$$300 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka, tulangan yang dipakai **Ø13-150 mm**

Syarat luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{\frac{1}{4}\pi(D^2)b}{s} > A_{s_{perlu}}$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{\frac{1}{4}\pi(13 \text{ mm})^2(1000\text{mm})}{150} > A_{s_{perlu}}$$

$$884,43 \text{ mm}^2 > 769,43 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat tangga tumpuan arah X digunakan **Ø13-150 mm**.

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{0,25\pi d^2}$$

$$n = \frac{884,43 \text{ mm}^2}{0,25\pi(13 \text{ mm})^2}$$

$$n = 7 \text{ buah}$$

Jarak spasi tulangan

$$S = n_{\text{tulangan}} (S_{\text{tulangan}})$$

$$= 7 \text{ buah } (200 \text{ mm})$$

$$= 1050 \text{ mm}$$

Arah Y

$$M_u = 3416,85 \text{ kgm} = 34168500 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{34168500}{0,9} = 37965000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{(b)d^2} = \frac{37965000 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm } (110,5 \text{ mm})^2} = 3,11$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)3,11}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,008$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,008 < 0,0244 \quad (\text{OK})$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho (b) d = 0,008 (1000 \text{ mm}) 110,5 \text{ mm} = 918,865 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2(150 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 300 \text{ mm}$$

Maka, dipakai tulangan **Ø16**

Menghitung jarak tulangan

$$S_{tul} = \frac{\frac{1}{4} \pi (D^2) b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S_{tul} = \frac{\frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 (1000 \text{ mm})}{918,865 \text{ mm}}$$

$$S_{tul} = 218,705 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

Maka, dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{\max} > S_{tul}$$

$$300 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan yang dipakai **Ø16-200 mm**

Syarat luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{\frac{1}{4} \pi (D^2) b}{s} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{\frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 (1000 \text{ mm})}{200} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$1004,8 \text{ mm}^2 > 918,865 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat tangga tumpuan arah Y digunakan **Ø16-200 mm**.

Jumlah tulangan

$$n = \frac{As}{0,25\pi d^2}$$

$$n = \frac{1004,8 \text{ mm}^2}{0,25\pi(16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 5 \text{ buah}$$

Jarak spasi tulangan

$$S = n_{\text{tulangan}} (S_{\text{tulangan}})$$

$$= 5 \text{ buah} (200 \text{ mm})$$

$$= 1000 \text{ mm}$$

Kesimpulan Penulangan

Pelat tangga	Arah X	D13-150 mm
	Arah Y	D16-200 mm
Pelat bordes	Arah X	D13-200 mm
	Arah Y	D16-150 mm

4.5 Perhitungan Struktur Primer

Untuk perhitungan struktur primer, portal pada bangunan yang akan ditinjau sebanyak 2 portal, yaitu portal memanjang dan portal melintang. Masing-masing portal akan dihitung untuk kebutuhan tulangan balok, kolom, serta hubungan balok-kolom dari masing-masing portal tersebut.

Untuk portal yang ditinjau adalah sebagai berikut:

- Portal pada bidang memanjang
- Portal pada bidang melintang

4.5.1 Desain Struktur Balok

4.5.1.1 Desain Struktur Balok Induk (B1)

Data-Data Perencanaan

Frame	: 76
Tipe balok	: B1
Bentang balok (L)	: 5500 mm
Dimensi balok (B_{balok})	: 300 mm

Dimensi balok (H_{balok})	: 500 mm
Mutu beton (f_c')	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{ys})	: 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 Mpa
Diameter tulangan lentur (D)	: 22 mm
Diameter tulangan geser (ϕ)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 13 mm
Spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (decking)	: 40 mm
-------------------------------	---------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))

Faktor β_1	: 0,85
------------------	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,9
---	-------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\ &= (500 - 40 - 10 - (1/2) 22) \text{ mm} \\ &= 449 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= h - d \\ &= 500 \text{ mm} - 449 \text{ mm} \\ &= 51 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil Output SAP 2000

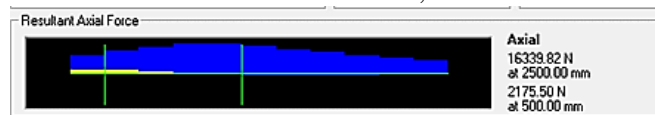
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok.

Hasil Output Torsi

Momen Puntir : 13068413,9 Nmm

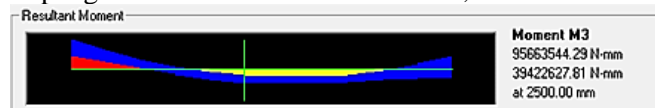


P : 16339,82 N

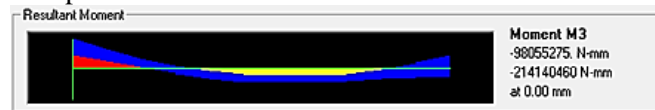


Hasil Output Momen Lentur

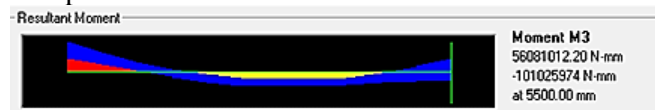
Lapangan : 95663544,29 Nmm



Tumpuan kiri : 214140460 Nmm



Tumpuan kanan : 101025974 Nmm



Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, V_u diambil sebesar:

Tumpuan : 148124,23 N



Lapangan : 0

Syarat Gaya Aksial Balok

Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2.** Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, **Pu**, untuk komponen struktur tidak melebihi $\frac{A_g f_c'}{10}$ dengan perhitungan dibawah ini:

$$\frac{A_g(f_c')}{10} > P$$

$$\frac{(300 \text{ mm})(500 \text{ mm})(30 \text{ Mpa})}{10} > 16339,82 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi pembebanan pada komponen struktur yang ditinjau sebesar 16339,82 N

Maka sesuai persamaan :

$$\frac{A_g F c'}{10} > P_u$$

$$450000 \text{ N} > 16339,82 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang Terhadap Beban Geser Dan Puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} (h_{balok})$$

$$A_{cp} = 300 \text{ mm} (500 \text{ mm})$$

$$A_{cp} = 150000 \text{ mm}^2$$

Parameter luas irisan penampang beton Acp:

$$P_{cp} = 2 (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 (300 \text{ mm} + 500 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 1600 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$A_{oh} = (300 \text{ mm} - 2.40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})(500 \text{ mm} - 2.40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 86100 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(300\text{mm} - 2.40\text{mm} - 10\text{mm}) + (500\text{mm} - 2.40\text{mm} - 10\text{mm})]$$

$$P_{oh} = 1240 \text{ mm}$$

Perhitungan Tulangan Puntir:

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi pembebanan

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 13068413,9 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{13068413,9 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$T_n = 17424551,87 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor (T_u) besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini:

$$T_{u_{min}} = \phi(0,083)\lambda\sqrt{f'c'}\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right)$$

$$T_{u_{min}} = 0,75(0,083)1\sqrt{30}\left(\frac{150000^2}{1600}\right)$$

$$T_{u_{min}} = 4794711,92 \text{ Nmm}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1 (a))

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimal (T_u) dapat diambil sebesar:

$$T_{u_{max}} = \phi(0,33)\lambda\sqrt{f'c'}\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right)$$

$$T_{u_{max}} = \phi(0,33)1\sqrt{30}\left(\frac{150000^2}{1600}\right)$$

$$T_{u_{max}} = 1906331,45 \text{ Nmm}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.2.2 (a))

Cek pengaruh momen puntir

$Tu < Tu_{min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$Tu > Tu_{min}$, maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi :

$Tu > Tu_{min} = 13068413,9 \text{ Nmm} > 4794711,92 \text{ Nmm}$,
maka **puntir diperhitungkan**.

Jadi penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang dan sengkang-sengkang tertutup.

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3:**

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bd}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7A_o h^2}\right)^2} \leq \varphi \left(\frac{\frac{1}{6}\sqrt{f'c'}bd}{bd} + \left(\frac{2\sqrt{f'c'}}{3}\right) \right)$$

$$1,69 \leq 4,564 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka penampang balok induk mencukup untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan (**SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7**) direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} (Ph) \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan (**SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6**) berasal dari persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2(A_o)A_t(F_{yt})}{s} \cot \emptyset$$

Untuk beton non prategang $\emptyset = 45^\circ$

Dimana, $A_o = 0,85 A_{oh}$

Maka,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot 86100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$= 73185 \text{ mm}^2$$

$$\frac{At}{s} = \frac{T_n}{2(A_o)At(F_{yt})Cot \emptyset}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{17424551,87 \text{ Nmm}}{2(73185 \text{ mm}^2)240 \text{ Mpa}(Cot 45)}$$

$$\frac{At}{s} = 0,482 \text{ mm}$$

Sehingga Tulangan puntir untuk lentur:

$$Al = \frac{At}{s} (Poh) \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) Cot^2 \emptyset$$

$$Al = (0,482 \text{ mm}) 1240 \text{ mm} \left(\frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) (Cot^2 45)$$

$$Al = 227,8 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan (**SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3**) tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175(Bw)}{F_{yt}}$$

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175(300 \text{ mm})}{400 \text{ Mpa}}$$

$$0,482 \text{ mm} \geq 0,13 \text{ mm}$$

Maka nilai At/s diambil yang terbesar = 0,482 mm

Periksa nilai Al_{min} dengan persamaan:

$$Al_{min} = \left(\left(\frac{0,42\sqrt{f'c'}(Acp)}{F_y} - \frac{At}{s} \right) (Poh) \frac{F_{yt}}{F_y} \right)$$

$$Al_{min} = \left(\left(\frac{0,42\sqrt{30}(150000)}{400} - 0,482 \right) 1240 \frac{400}{400} \right)$$

$$Al_{min} = 264,90 \text{ mm}^2$$

Periksa penggunaan Al dengan 2 kondisi sebagai berikut.

$Al \text{ perlu} \leq Al \text{ min}$, maka menggunakan $Al \text{ min}$

$Al \text{ perlu} \geq Al \text{ min}$, maka menggunakan $Al \text{ perlu}$

Maka nilai Al_{\min} :

$$Al_{\text{perlu}} \leq Al_{\min} = 227,83 \text{ mm}^2 \leq 264,90 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai Al_{perlu} sebesar 264,90 mm^2 . Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang balok sehingga sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{Al}{4} = \frac{264,90 \text{ mm}^2}{4} = 66,23 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya :

- Pada sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 92,26 mm^2 . Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$Al_{\text{perlu}} = 2 \left(\frac{Al}{4} \right)$$

$$Al_{\text{perlu}} = 2 \left(\frac{264,90 \text{ mm}^2}{4} \right)$$

$$Al_{\text{perlu}} = 132,45 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13 pada tulangan puntir untuk kedua sisinya yaitu sisi kiri dan sisi kanan sejumlah:

$$n = \frac{Al}{\text{Luas tulangan}}$$

$$n = \frac{132,45 \text{ mm}^2}{0,25\pi(13 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,998 \text{ buah} \approx 2 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan puntir **2D13**

$$Al_{\text{pasang}} = (n_{\text{pasang}})A_{\text{tulangan puntir}}$$

$$Al_{\text{pasang}} = 2(0,25)\pi(13 \text{ mm})^2$$

$$Al_{\text{pasang}} = 265,46 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{l_{pasang}} \geq A_{l_{perlu}} = 265,46 \text{ mm}^2 \geq 132,45 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri, tumpuan kanan dan lapangan dipasang sebesar **2D13**

Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Kanan

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 449$$

$$Xb = 269,4 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{maks} &= 0,75 (Xb) \\ &= (0,75) 269,4 \text{ mm} \\ &= 202,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= h - d \\ &= 500 \text{ mm} - 449 \text{ mm} = 51 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 (f_c') b (\beta_1) X_{rencana} \\ &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 300 \text{ mm} (0,85) 100 \text{ mm} \\ &= 650250 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{f_y} \\ Asc &= \frac{650250 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}} \end{aligned}$$

$$Asc = 1625,625 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= (Asc) f_y \left(d - \frac{(\beta_1) X_{rencana}}{2} \right) \\ Mnc &= 1625,625 (400) \left(449 - \frac{(0,85) 100}{2} \right) \end{aligned}$$

$$M_{nc} = 264326625 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_u = 101025974 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{101025974 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 112251082,2 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 112251082,2 \text{ Nmm} - 264326625 \text{ Nmm} \\ &= -152075542,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -152075542,8 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,0325$$

$$R_n = \frac{M_n}{b(d^2)} = \frac{112251082,2 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm}(449 \text{ mm})^2} = 1,86$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)1,86}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0048$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0048 < 0,0325 \quad (\text{OK})$$

Luasan perlu ($A_{s_{\text{perlu}}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho(b)d \\ &= 0,0048 (300 \text{ mm}) (449 \text{ mm}) \\ &= 649,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 649,57 \text{ mm}^2 + 66,23 \text{ mm}^2 \\ &= 715,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{A_{\text{tulangan lentur}}}$$

$$n = \frac{715,80 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (22 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,88 \text{ pasang}$$

$$n = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **2D22**

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tarik}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4} \right) \pi (22 \text{ mm})^2 \\ &= 760,265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 760,265 \text{ mm}^2 \geq 715,80 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 A_s'_{\text{perlu}} &= 0,3 (A_{s_{\text{pasang}}}) \\
 &= 0,3 (760,265 \text{ mm}^2) \\
 &= 228,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_s'_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{228,08 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (22 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,60 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D22**

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tekan}}}) \\
 &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (22 \text{ mm})^2 \\
 &= 760,265 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_s'_{\text{pasang}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 760,265 \text{ mm}^2 \geq 228,08 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis **2D22** dan tulangan tekan 1 lapis **2D22**.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2t_{\text{selimut}}) - (2D_{\text{geser}}) - (nD_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 156 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 156 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2t_{\text{selimut}}) - (2D_{\text{geser}}) - (nD_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 156 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 156 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B1 (30/50) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D22**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (22 \text{ mm})^2 \\ &= 760,265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (22 \text{ mm})^2 \\ &= 760,265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$760,265 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (760,265 \text{ mm}^2)$$

$$760,265 \text{ mm}^2 \geq 253,4 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } \mathbf{2D22} = 760,265 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } \mathbf{2D22} = 253,4 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{A_s \text{ pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{760,265 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) \times 300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 39,75 \text{ mm}$$

$$Mn = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 304106,17 \left(449 - \frac{59,6}{2} \right)$$

$$Mn = 130499188,6 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}} = 130499188,6 \text{ Nmm} > 101025974 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok induk B1(30/50) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D22**

Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Kiri

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 449$$

$$Xb = 269,4 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 (Xb) \\ &= (0,75) 269,4 \text{ mm} \\ &= 202,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= h - d \\ &= 500 \text{ mm} - 449 \text{ mm} = 51 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 (fc')b(\beta 1)X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 300 \text{ mm} (0,85) 100 \text{ mm} \\ &= 650250 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{f_y}$$

$$A_{sc} = \frac{650250 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$A_{sc} = 1625,625 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = (A_{sc})f_y \left(d - \frac{(\beta_1)X_{rencana}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 1625,625(400) \left(449 - \frac{(0,85)100}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 264326625 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_u = 214140460 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{214140460 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 237933844,4 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 237933844,4 \text{ Nmm} - 264326625 \text{ Nmm} \\ &= -26392780,56 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -26392780,56 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right)}{400}$$

$$\rho_b = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,0325$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{237933844,4 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm}(449 \text{ mm})^2} = 3,93$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)3,93}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0107$$

Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 > 0,0107 < 0,0325 \quad \textbf{(OK)}$$

Luasan perlu ($A_{s_{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho(b)d \\ &= 0,0107 (300 \text{ mm}) (449 \text{ mm}) \\ &= 1446,656 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 1446,656 \text{ mm}^2 + 66,23 \text{ mm}^2 \\ &= 1512,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{A_{tulangan \text{ lentur}}} \\ &= \frac{1512,88 \text{ mm}^2}{1512,88 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$n = \frac{1}{4} \pi (22 \text{ mm})^2$$

$$n = 3,98 \text{ pasang} = 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **4D22**

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n (A_{s_{tul \text{ tarik}}}) \\ &= 4 \left(\frac{1}{4} \right) \pi (22 \text{ mm})^2 \end{aligned}$$

$$= 1520,53 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{pasang}} \geq A_{s_{perlu}} = 1520,53 \text{ mm}^2 \geq 1512,88 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{perlu}} &= 0,3 (A_{s_{pasang}}) \\ &= 0,3 (1520,53 \text{ mm}^2) \\ &= 456,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{perlu}}}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{456,16 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (22 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,2 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D22**

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n (A_{s_{tul \text{ tekan}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (22 \text{ mm})^2 \\ &= 760,265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s'_{pasang}} \geq A_{s_{perlu}} = 760,265 \text{ mm}^2 \geq 456,16 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 2 lapis **4D22** dan tulangan tekan 1 lapis **2D22**.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$S_{maks} = 37,3 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 37,3 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{\frac{n-1}{2-1}}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 2)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 156 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 156 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B1 (30/50) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D22**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 4 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (22 \text{ mm})^2 \\ &= 1520,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (22 \text{ mm})^2 \\ &= 760,265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1520,53 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (760,265 \text{ mm}^2)$$

$$1520,53 \text{ mm}^2 \geq 253,4 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

As pakai tulangan tarik **4D22** = 1520,53 mm²

As pakai tulangan tekan **2D22** = 253,4 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik } \times Fy}{0,85 \times f'c \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1520,53 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) \times 300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 79,51 \text{ mm}$$

$$Mn = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 248909415 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}} = 248909415 \text{ Nmm} > 214140460 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok induk B1(30/50) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D22**

Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 449$$

$$Xb = 269,4 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 (Xb) \\ &= (0,75) 269,4 \text{ mm} \\ &= 202,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= h - d \\ &= 500 \text{ mm} - 449 \text{ mm} \\ &= 51 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 (f_c') b (\beta_1) X_{rencana} \\
 &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 300 \text{ mm} (0,85) 100 \text{ mm} \\
 &= 650250 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{f_y} \\
 &= \frac{650250 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}}
 \end{aligned}$$

$$Asc = 1625,625 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= (Asc) f_y \left(d - \frac{(\beta_1) X_{rencana}}{2} \right) \\
 Mnc &= 1625,625 (400) \left(449 - \frac{(0,85) 100}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$Mnc = 264326625 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu = 95663544,29 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\
 &= \frac{95663544,29 \text{ Nmm}}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$Mn = 106292827 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 Mns &= Mn - Mnc \\
 &= 106292827 \text{ Nmm} - 264326625 \text{ Nmm} \\
 &= -158033798 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -158033798 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,0325$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{106292827 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm}(449 \text{ mm})^2} = 1,76$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)1,76}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0046$$

Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 > 0,0046 < 0,0325 \quad \textbf{(OK)}$$

Luasan perlu ($A_{s_{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho(b)d \\ &= 0,0046 (300 \text{ mm}) (449 \text{ mm}) \\ &= 613,765 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 613,765 \text{ mm}^2 + 66,23 \text{ mm}^2 \\ &= 679,99 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{A_{\text{tulangan lentur}}}$$

$$n = \frac{679,99 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (22 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,79 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **2D22**

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tarik}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (22 \text{ mm})^2 \\ &= 760,265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 760,265 \text{ mm}^2 \geq 679,99 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{perlu}}} &= 0,3 (A_{s_{\text{pasang}}}) \\ &= 0,3 (760,265 \text{ mm}^2) \\ &= 228,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{\text{perlu}}}}{A_{\text{Luasan D lentur}}}$$

$$n = \frac{228,08 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (22 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,6 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D22**

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tekan}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (22 \text{ mm})^2 \\ &= 760,265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s'_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 760,265 \text{ mm}^2 \geq 228,08 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis **2D22** dan tulangan tekan 1 lapis **2D22**.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimiut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 156 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 156 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimiut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 156 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 156 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B1 (30/50) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D22**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (22 \text{ mm})^2 \\ &= 760,265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{spasang} = n_{pasang} (A_D \text{ lentur})$$

$$= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (22 \text{ mm})^2$$

$$= 760,265 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$760,265 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (760,265 \text{ mm}^2)$$

$$760,265 \text{ mm}^2 \geq 253,4 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

As pakai tulangan tarik **2D22** = 760,625 mm²

As pakai tulangan tekan **2D22** = 253,4 mm²

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{760,265 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) \times 300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 39,8 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s) F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 130499188,6 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$M_{n\text{pasang}} > M_{n\text{perlu}} = 117449269,8 \text{ Nmm} > 95663544,29 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok induk B1(30/50) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D22**

Perhitungan Tulangan Geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok induk. Luasan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi pembebanan yaitu

$$V_u = 148124,23 \text{ N.}$$

Momen nominal penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan

Nilai **As pasang** = $760,265 \text{ mm}^2$

Nilai **As' pasang** = $760,265 \text{ mm}^2$

1. Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan

$As \text{ pasang} = 760,625 \text{ mm}^2$



$As' \text{ pasang} = 760,265 \text{ mm}^2$

Momen nominal kiri

$$a = \left(\frac{As' (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(760,265 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 39,752 \text{ mm}$$

$$Mnl = (As')Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnl = (760,265)400 \left(449 - \frac{39,752}{2} \right)$$

$$Mnl = 130499188,6 \text{ Nmm}$$

Momen nominal kanan

$$a = \left(\frac{As (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(760,265 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 39,752 \text{ mm}$$

$$Mnr = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnr = (760,265)400 \left(449 - \frac{39,752}{2} \right)$$

$$Mnr = 130499188,6 \text{ Nmm}$$

2. Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri

$$As \text{ pasang} = 760,265 \text{ mm}^2$$



$$As' \text{ pasang} = 760,625 \text{ mm}^2$$

Momen nominal kiri

$$a = \left(\frac{As (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(760,265 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 39,752 \text{ mm}$$

$$Mnl = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnl = (760,265)400 \left(449 - \frac{39,752}{2} \right)$$

$$Mnl = 130499188,6 \text{ Nmm}$$

Momen nominal kanan

$$a = \left(\frac{As' (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(760,265 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})300 \text{ mm}} \right)$$

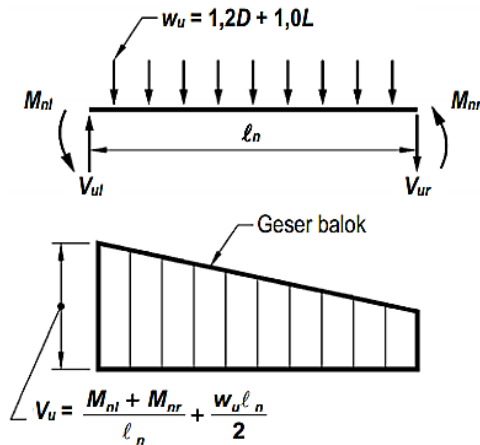
$$a = 39,752 \text{ mm}$$

$$Mnr = (As')Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnr = (760,265)400 \left(449 - \frac{39,752}{2} \right)$$

$$Mnr = 130499188,6 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok, gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 gambar S21.5.4. Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + \frac{Wu (ln)}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + Vu$$

Keterangan:

$Vu1$: Gaya geser pada muka perletakan

Mnl : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan kiri

Mnr : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan kanan

ln : Panjang bersih balok

Karena hasil Mn untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $Vu_1 = Vu_2$

$$\begin{aligned} ln &= L_{balok} - 2(1/2 b_{kolom}) \\ &= 5500 - 2(1/2.400) \\ &= 5100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, perhitungan geser pada ujung perletakan:

$$Vu = 148124,23 \text{ N}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + Vu$$

$$Vu1 = \frac{(130499119,5 + 130499119,5)}{5100} + 148124,23$$

$$Vu1 = 199300,3824 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

(SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < \frac{25}{3}$$

$$5,477 < 8,33 \quad (\text{OK})$$

Kuat geser beton

$$Vc = (0,17) \lambda \sqrt{f_c'} (b) d$$

$$Vc = 0,17(1) \sqrt{30} (300) 449$$

$$Vc = 125422,99 \text{ N}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1)

Kuat geser tulangan geser

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} (b) d$$

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} (300 \text{ mm}) (449 \text{ mm})$$

$$Vs_{min} = 44900 \text{ N}$$

$$Vs_{max} = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} (b) d$$

$$Vs_{max} = \frac{1}{3} \sqrt{30} (300 \text{ mm}) (449 \text{ mm})$$

$$Vs_{max} = 245927,43 \text{ N}$$

$$2Vs_{max} = 2(245927,43 \text{ N})$$

$$2Vs_{max} = 491854,86 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkan) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu:

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$V_{u1} = 199300,38 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 \rightarrow tidak memerlukan tulangan geser

V_u	\leq	$\frac{1}{2}(\phi)V_c$
199300,38 N	$>$	47033,62 N

(TIDAK OK)

2. Kondisi 2 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum

$\frac{1}{2}(\phi)V_c$	\leq	V_u	\leq	$\phi(V_c)$
47033,62 N	$<$	199300,38 N	$>$	94067,24 N

(TIDAK OK)

3. Kondisi 3 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum

$\phi(V_c)$	\leq	V_u	\leq	$\phi(V_c + V_{s_{min}})$
94067,24 N	$<$	199300,38 N	$>$	127742,24 N

(TIDAK OK)

4. Kondisi 4 \rightarrow memerlukan tulangan geser

$\phi(V_c + V_{s_{min}})$	\leq	V_u	\leq	$\phi(V_c + V_{s_{max}})$
127742,24 N	$<$	199300,38 N	$<$	278512,81 N

(OK)

5. Kondisi 5 \rightarrow memerlukan tulangan geser

$\phi(V_c + V_{s_{max}})$	\leq	V_u	\leq	$\phi(V_c + 2V_{s_{max}})$
278512,81 N	$>$	199300,38 N	$<$	462958,38 N

(TIDAK OK)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 4, yaitu memerlukan tulangan geser. Sehingga, beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_{s_{perlu}} = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_{s_{perlu}} = \frac{199300,38 \text{ N}}{0,75} - 125422,99 \text{ N}$$

$$V_{s_{perlu}} = 140310,85 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_{v_{pakai}} = \frac{1}{4} \pi (d^2) n_{kaki}$$

$$A_{v_{pakai}} = \frac{1}{4} \pi (12 \text{ mm})^2 2$$

$$A_{v_{pakai}} = 226 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$S_{pakai} = \frac{A_{v_1}(f_y)d}{V_{s_{perlu}}}$$

$$S_{pakai} = \frac{226,2 \text{ mm}^2 (400 \text{ mm}) 449 \text{ mm}}{140310,85 \text{ N}}$$

$$S_{pakai} = 289,5 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = d/4$$

$$= 449 \text{ mm}/4$$

$$= 112,25 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Maka, digunakan spasi tulangan 100 mm. Sehingga luas penampang tulangan geser:

$$A_{v_{perlu}} = \frac{V_{s_{perlu}}(S_{pakai})}{f_{yv}(d)}$$

$$A_{v_{perlu}} = \frac{140310,85 \text{ N}(100 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}(449 \text{ mm})}$$

$$A_{v_{perlu}} = 130,2 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup. Apabila diketahui besar pengaruh momen puntir:

$$\frac{At}{s} = 0,482$$

Maka nilai At adalah:

$$At = \left(\frac{At}{s}\right) S_{pakai}$$

$$At = (0,482)(100 \text{ mm})$$

$$At = 48,2 \text{ mm}$$

Sehingga, luas gabungan:

$$Av_{perlu} + 2(At) = 130,2 \text{ mm}^2 + 2(48,2 \text{ mm})$$

$$Av_{perlu} + 2(At) = 226 \text{ mm}^2$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$Av + 2(At) = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b(S_{pakai})}{f_{yv}}$$

$$Av + 2(At) = 0,062 \sqrt{30 \text{ Mpa}} \frac{300 \text{ mm}(100 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}}$$

$$Av + 2(At) = 42,45 \text{ mm}^2$$

$$Av + 2(At) = 0,35 \frac{b(S_{pakai})}{f_{yv}}$$

$$Av + 2(At) = 0,35 \frac{300 \text{ mm}(100 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}}$$

$$Av + 2(At) = 43,75 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan nilai Av_{perlu} menggunakan:

$$Av_{perlu} + 2(At) = 226 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$Av_{pakai} > Av_{perlu} = 226,2 \text{ mm}^2 > 226 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali

komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{\text{pakai}} < d/4$
 $100 \text{ mm} < 449 \text{ mm}/4$
 $100 \text{ mm} < 112,25 \text{ mm}$ (OK)
- b. $S_{\text{pakai}} < 8 (D_{\text{lentur}})$
 $100 \text{ mm} < 8(22 \text{ mm})$
 $100 \text{ mm} < 176 \text{ mm}$ (OK)
- c. $S_{\text{pakai}} < 24(D_{\text{geser}})$
 $100 \text{ mm} < 24(12 \text{ mm})$
 $100 \text{ mm} < 288 \text{ mm}$ (OK)
- d. $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

Jadi digunakan tulangan geser (sengkang) **Ø12-100 mm** pada daerah tumpuan kanan dan kiri dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu_2}{0,5 l_n - 2h} = \frac{Vu_1}{0,5 l_n}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1(0,5 l_n - 2h)}{0,5 l_n}$$

$$Vu_2 = \frac{2199300,38(0,5 (5100) - (2)500)}{0,5(5100)}$$

$$Vu_2 = 121143,37 \text{ N}$$

Cek kondisi

$$Vu_2 = 12113,37 \text{ N}$$

1. Kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser

Vu	\leq	$\frac{1}{2}(\phi)Vc$
121143,37 N	$>$	47033,62 N

(TIDAK OK)

2. Kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum

$\frac{1}{2}(\phi)Vc$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc)$
47033,62 N	$<$	121143,37 N	$>$	94067,24 N

(TIDAK OK)

3. Kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum

$\phi(Vc)$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc+Vs_{min})$
94067,24 N	$<$	121143,37 N	$>$	127742,24 N

(TIDAK OK)

4. Kondisi 4 → memerlukan tulangan geser

$\phi(Vc+Vs_{min})$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc+Vs_{max})$
127742,24 N	$<$	121143,37 N	$<$	278512,81 N

(OK)

5. Kondisi 5 → memerlukan tulangan geser

$\phi(Vc+Vs_{max})$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc+2Vs_{max})$
278512,81 N	$>$	121143,37 N	$<$	462958,38 N

(TIDAK OK)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 4, yaitu memerlukan tulangan geser. Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$Vs_{min} = \frac{Vu}{\phi} - Vc$$

$$Vs_{min} = \frac{121143,37 \text{ N}}{0,75} - 125422,99 \text{ N}$$

$$Vs_{min} = 36101,505 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av_{pakai} = \frac{1}{4} \pi (d^2) n_{kaki}$$

$$Av_{pakai} = \frac{1}{4} \pi (12 \text{ mm})^2 (2)$$

$$Av_{pakai} = 226,2 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$S_{pakai} = \frac{Av_1 (fy) d}{V_{Spertu}}$$

$$S_{pakai} = \frac{226,2 \text{ mm}^2 (400 \text{ mm}) 449 \text{ mm}}{36101,505 \text{ N}}$$

$$S_{pakai} = 1125,3 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = d/2$$

$$= 449 \text{ mm}/2$$

$$= 224,50 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Maka, digunakan spasi tulangan 150 mm. Sehingga luas penampang tulangan geser:

$$Av_{perlu} = \frac{V_{Spertu} (S_{pakai})}{f_{yv} (d)}$$

$$Av_{perlu} = \frac{36101,505 \text{ N} (150 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa} (449 \text{ mm})}$$

$$Av_{perlu} = 50,25 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup. Apabila diketahui besar pengaruh momen puntir:

$$\frac{At}{s} = 0,482$$

Maka nilai At adalah:

$$At = \left(\frac{At}{s} \right) S_{pakai}$$

$$At = (0,482)(150 \text{ mm})$$

$$At = 72,3 \text{ mm}$$

Sehingga, luas gabungan:

$$Av_{\text{perlu}} + 2(At) = 50,25 \text{ mm}^2 + 2(72,3 \text{ mm})$$

$$Av_{\text{perlu}} + 2(At) = 194,9 \text{ mm}^2$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$Av + 2(At) = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b(S_{\text{pakai}})}{f_{yv}}$$

$$Av + 2(At) = 0,062 \sqrt{30 \text{ Mpa}} \frac{300 \text{ mm}(150 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}}$$

$$Av + 2(At) = 63,67 \text{ mm}^2$$

$$Av + 2(At) = 0,35 \frac{b(S_{\text{pakai}})}{f_{yv}}$$

$$Av + 2(At) = 0,35 \frac{300 \text{ mm}(150 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}}$$

$$Av + 2(At) = 65,625 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan nilai Av_{perlu} menggunakan:

$$Av + 2(At) = 194,95 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$Av_{\text{pakai}} > Av_{\text{perlu}} = 226,2 \text{ mm}^2 > 194,9 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

a) $d/4$

b) delapan kali diameter tulangan longitudinal

- c) 24 kali diameter sengkang dan
d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{pakai} < d/4$
 $150 \text{ mm} < 449 \text{ mm}/2$
 $150 \text{ mm} < 224,5 \text{ mm}$ (OK)
- b. $S_{pakai} < 8(D_{lentur})$
 $150 \text{ mm} < 8(22 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 176 \text{ mm}$ (OK)
- c. $S_{pakai} < 24(D_{geser})$
 $150 \text{ mm} < 24(12 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 288 \text{ mm}$ (OK)
- d. $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

Jadi digunakan tulangan geser (sengkang) **Ø12-150 mm** pada daerah tumpuan kanan dan kiri dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

Perhitungan Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D25 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3, dan 12.5.

1. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

$$ld = \left(\frac{F_y \cdot \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'c'}} \right) d_b$$

Dimana,

Ψ_t = Faktor lokasi tulangan, 1

Ψ_e = Faktor pelapis tulangan, 1

λ = Beton normal, 1

Maka,

$$ld = \left(\frac{400 \text{ Mpa}(1)1}{1,7(1)\sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) 22 \text{ mm}$$

$$ld = 945,09 \text{ mm}$$

Syarat:

$$L_d > 300 \text{ mm}$$

$$945,09 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = \left(\frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{pasang}}}} \right) l_d$$

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = \frac{1512,88 \text{ mm}^2}{1520,53 \text{ mm}^2} 945,09 \text{ mm}$$

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = 940,34 \text{ mm} \approx 950 \text{ mm}$$

2. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \frac{0,24 F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24(400 \text{ Mpa})}{1\sqrt{30 \text{ Mpa}}} 22 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 385,6 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043(F_y)d_b$$

$$l_{dc} = 0,043(400 \text{ Mpa}) 22 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 378 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $L_{dc} = 386 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = \left(\frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{pasang}}}} \right) l_{dc}$$

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = \frac{456,16 \text{ mm}^2}{760,265 \text{ mm}^2} 386 \text{ mm}$$

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = 231,358 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

3. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$l_d = \left(\frac{0,24(f_y)\Psi_e}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$ld = \left(\frac{0,24(400 \text{ Mpa})1}{1\sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right)^{22} \geq 8(22 \text{ mm}) \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$ld = 385,6 \text{ mm} \geq 176 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$ld = 385,6 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.5.1.2 Desain Struktur Balok Anak

Data-Data Perencanaan

Frame	: 288
Tipe balok	: B2-2
Bentang balok (L)	: 5000 mm
Dimensi balok (B _{balok})	: 200 mm
Dimensi balok (H _{balok})	: 250 mm
Mutu beton (f _{c'})	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f _y)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f _{ys})	: 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (f _{yt})	: 400 Mpa
Diameter tulangan lentur (D)	: 16 mm
Diameter tulangan geser (ø)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 13 mm
Spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm
(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)	
Tebal selimut beton (decking)	: 30 mm
(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))	
Faktor β ₁	: 0,85
(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)	
Faktor reduksi kekuatan lentur (φ)	: 0,9
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)	
Faktor reduksi kekuatan geser (φ)	: 0,75
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)	
Faktor reduksi kekuatan torsi (φ)	: 0,75
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)	

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\
 &= (250 - 30 - 10 - (1/2) 16) \text{ mm} = 212 \text{ mm} \\
 d' &= h - d
 \end{aligned}$$

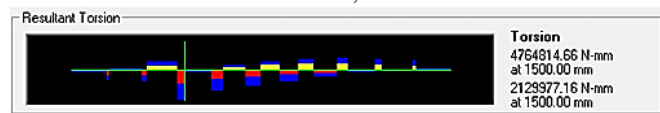
$$= 250 \text{ mm} - 212 \text{ mm} = 38 \text{ mm}$$

Hasil Output SAP 2000

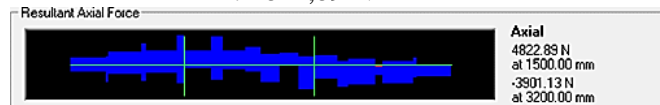
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok.

Hasil Output Torsi

Momen Puntir : 4764814,66 Nmm

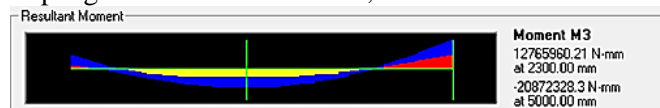


P : 4822,89 N

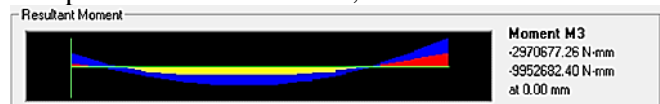


Hasil Output Momen Lentur

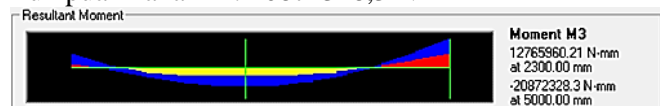
Lapangan : 12765960,21 Nmm



Tumpuan kiri : 9952682,4 Nmm



Tumpuan kanan : 20872328,3 Nmm

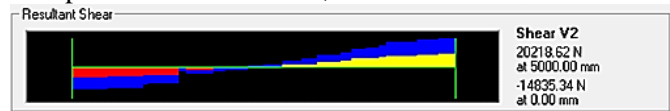


Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari

50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, V_u diambil sebesar:

Tumpuan : 20218,62 N



Lapangan : 0

Syarat Gaya Aksial Balok

Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2**. Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, **P_u** , untuk komponen struktur tidak melebihi **$A_g f_c' / 10$** dengan perhitungan dibawah ini:

$$\frac{A_g(f_c')}{10} > P$$

$$\frac{(200 \text{ mm})(250 \text{ mm})(30 \text{ Mpa})}{10} > 4822,89 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D + 1Ex + 0,3Ey + 1L pada komponen struktur yang ditinjau sebesar 4822,89 N

Maka sesuai persamaan :

$$P_u < \frac{A_g F_c'}{10}$$

$$4822,89 \text{ N} < 150000 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang Terhadap Beban Geser Dan Puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} (h_{balok})$$

$$A_{cp} = 200 \text{ mm} (250 \text{ mm})$$

$$A_{cp} = 50000 \text{ mm}^2$$

Parameter luas irisan penampang beton A_{cp} :

$$P_{cp} = 2 (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 (200 \text{ mm} + 250 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 900 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$A_{oh} = (200 \text{ mm} - 2.30 \text{ mm} - 10 \text{ mm})(250 \text{ mm} - 2.30 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 23400 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(200\text{mm} - 2.30\text{mm} - 10\text{mm}) + (250\text{mm} - 2.30\text{mm} - 10\text{mm})]$$

$$P_{oh} = 620 \text{ mm}$$

Perhitungan Tulangan Puntir:

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi pembebanan

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 13068413,9 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{4764814,66 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$T_n = 6353086,213 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktot (T_u) besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini:

$$T_{u_{min}} = \phi(0,083)\lambda\sqrt{f'c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

$$T_{u_{min}} = 0,75(0,083)1\sqrt{30}\left(\frac{50000^2}{900}\right)$$

$$T_{u_{min}} = 947103,589 \text{ Nmm}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1 (a))

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimal (T_u) dapat diambil sebesar:

$$Tu_{max} = \varphi(0,33)\lambda\sqrt{fc'}\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right)$$

$$Tu_{max} = \varphi(0,33)1\sqrt{30}\left(\frac{50000^2}{900}\right)$$

$$Tu_{max} = 3765592,583 \text{ Nmm}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.2.2 (a))

Cek pengaruh momen puntir

$Tu < Tu_{min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$Tu > Tu_{min}$, maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi :

$Tu > Tu_{min} = 4764814,66 \text{ Nmm} > 947103,589 \text{ Nmm}$,
maka **puntir diperhitungkan**.

Jadi penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang dan sengkang-sengkang tertutup.

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3:**

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bd}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7Aoh^2}\right)^2} \leq \varphi \left(\frac{\frac{1}{6}\sqrt{fc'}bd}{bd} + \left(\frac{2\sqrt{fc'}}{3}\right) \right)$$

$$3,21 \leq 4,564$$

(memenuhi)

Maka penampang balok induk mencukup untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan (SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7) direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s}(Ph)\left(\frac{F_{yt}}{F_y}\right)Cot^2 \emptyset$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan (*SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6*) berasal dari persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2(A_o)A_t(F_{yt})}{s} \cot \emptyset$$

Untuk beton non pretegang $\emptyset = 45^\circ$

Dimana, $A_o = 0,85 A_{oh}$

Maka,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 (23400 \text{ mm}^2) \\ &= 19890 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2(A_o)A_t(F_{yt})\cot \emptyset} \\ \frac{A_t}{s} &= \frac{6353086,213 \text{ Nmm}}{2(19890 \text{ mm}^2)400 \text{ Mpa}(\cot 45)} \\ \frac{A_t}{s} &= 0,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga Tulangan puntir untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} (P_{oh}) \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset \\ A_l &= (0,65 \text{ mm}) 620 \text{ mm} \left(\frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) (\cot^2 45) \end{aligned}$$

$$A_l = 152,83 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan (*SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3*) tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &\geq \frac{0,175(B_w)}{F_{yt}} \\ \frac{A_t}{s} &\geq \frac{0,175(300 \text{ mm})}{400 \text{ Mpa}} \end{aligned}$$

$$0,036 \text{ mm} \geq 0,0875 \text{ mm}$$

Maka nilai A_t/s diambil yang terbesar = 0,0875 mm

Periksa nilai $A_{l_{min}}$ dengan persamaan:

$$Al_{min} = \left(\left(\frac{0,42\sqrt{fc'}(Acp)}{F_y} - \frac{At}{s} \right) (Poh) \frac{F_{yt}}{F_y} \right)$$

$$Al_{min} = \left(\left(\frac{0,42\sqrt{30}(50000)}{400} - 0,65 \right) 620 \frac{400}{400} \right)$$

$$Al_{min} = -113,41 \text{ mm}^2$$

Periksa penggunaan Al dengan 2 kondisi sebagai berikut.

Al perlu \leq Al min, maka menggunakan Al min

Al perlu \geq Al min, maka menggunakan Al perlu

Maka nilai Al_{min} :

$$Al_{perlu} \leq Al_{min} = -113,41 \text{ mm}^2 \leq 152,83 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai Al_{min} sebesar $152,83 \text{ mm}^2$. Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang balok sehingga sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{Al}{4} = \frac{152,83 \text{ mm}^2}{4} = 38,21 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya :

- Pada sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $58,33 \text{ mm}^2$. Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$Al_{perlu} = 2 \left(\frac{Al}{4} \right)$$

$$Al_{perlu} = 2 \left(\frac{152,83 \text{ mm}^2}{4} \right)$$

$$Al_{perlu} = 76,41 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13 pada tulangan puntir untuk kedua sisinya yaitu sisi kiri dan sisi kanan sejumlah:

$$n = \frac{A_l}{\text{Luas tulangan}} = \frac{76,41 \text{ mm}^2}{0,25\pi(13 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,88 \text{ buah} \approx 2 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan puntir **2D13**

$$A_{l_{pasang}} = (n_{pasang})A_{tulangan \text{ puntir}}$$

$$A_{l_{pasang}} = 2(0,25)\pi(13 \text{ mm})^2$$

$$A_{l_{pasang}} = 265,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{l_{pasang}} \geq A_{l_{perlu}} = 265,5 \text{ mm}^2 \geq 76,41 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri, tumpuan kanan dan lapangan dipasang sebesar **2D13**

Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Kanan

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 212 \text{ mm}$$

$$Xb = 127,2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{maks} &= 0,75 (Xb) \\ &= (0,75) 127,2 \text{ mm} \\ &= 95,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= h - d \\ &= 250 \text{ mm} - 212 \text{ mm} \\ &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 (fc')b(\beta_1)X_{rencana}$$

$$= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 200 \text{ mm} (0,85) 100 \text{ mm}$$

$$= 433500 \text{ N}$$

Luas tulangan tarik

$$A_{sc} = \frac{Cc'}{f_y}$$

$$A_{sc} = \frac{433500 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$A_{sc} = 1083,75 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = (A_{sc})f_y \left(d - \frac{(\beta_1)X_{rencana}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 1083,75(400) \left(212 - \frac{(0,85)100}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 73478250 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_u = 20872328,3 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{20872328,3 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 23191475,89 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 23191475,89 \text{ Nmm} - 73478250 \text{ Nmm}$$

$$= -50286774,11 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -50286774,11 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,0325$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{23191475,89 \text{ Nmm}}{200 \text{ mm}(212 \text{ mm})^2} = 2,58$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)2,58}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0068$$

Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 > 0,0068 < 0,0325 \quad \textbf{(OK)}$$

Luasan perlu ($A_{s_{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0068 (200 \text{ mm}) (212 \text{ mm}) \\ &= 288,93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 288,93 \text{ mm}^2 + 38,21 \text{ mm}^2 \\ &= 327,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{A_{tulangan \text{ lentur}}}$$

$$n = \frac{327,13 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi(16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,63 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **2D16**

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tarik}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 402,12 \text{ mm}^2 \geq 327,13 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{perlu}}} &= 0,3 (A_{s_{\text{pasang}}}) \\ &= 0,3 (402,12 \text{ mm}^2) \\ &= 120,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{\text{perlu}}}}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{120,64 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi(16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,6 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D16**

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tekan}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s'_{\text{pasang}}} \geq A_{s'_{\text{perlu}}} = 402,12 \text{ mm}^2 \geq 120,64 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis **2D16** dan tulangan tekan 1 lapis **2D16**.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2t_{\text{selimut}}) - (2D_{\text{geser}}) - (nD_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{200 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 88 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 88 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{200 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 88 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 88 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B2-2 (20/25) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (402,12 \text{ mm}^2)$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq 134,04 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

As pakai tulangan tarik **2D16** = 402,12 mm²

As pakai tulangan tekan **2D16** = 134,04 mm²

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) 200 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 31,5 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s) F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 160849,54 \left(212 - \frac{31,5}{2} \right)$$

$$M_n = 31563576,26 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$M_{n_{\text{pasang}}} > M_{n_{\text{perlu}}} = 28407218,64 \text{ Nmm} > 20872328,3 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok induk B2-2 (20/25) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Kiri

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 212 \text{ mm}$$

$$X_b = 127,2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{\text{maks}} = 0,75 (X_b)$$

$$= (0,75) 127,2 \text{ mm}$$

$$= 95,4 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{\min} &= h - d \\
 &= 250 \text{ mm} - 212 \text{ mm} \\
 &= 38 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 (f_c') b (\beta_1) X_{\text{rencana}} \\
 &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 200 \text{ mm} (0,85) 100 \text{ mm} \\
 &= 433500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{f_y} \\
 &= \frac{433500 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}} \\
 Asc &= 1083,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= (Asc) f_y \left(d - \frac{(\beta_1) X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\
 Mnc &= 1083,75 (400) \left(212 - \frac{(0,85) 100}{2} \right) \\
 Mnc &= 73478250 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu = 9952682,4 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\
 &= \frac{9952682,4 \text{ Nmm}}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$Mn = 11058536 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 Mns &= Mn - Mnc \\
 &= 11058536 \text{ Nmm} - 73478250 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$= -62419714 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -62419714 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,0325$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{11058536 \text{ Nmm}}{200 \text{ mm}(212 \text{ mm})^2} = 1,23$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)1,23}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,00315$$

Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 > 0,00315 < 0,0325 \quad (\text{OK})$$

Diperbesar 30%, maka $\rho = 0,00455$

Luasan perlu ($A_{s_{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$A_{s_{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00455 (200 \text{ mm}) (212 \text{ mm})$$

$$= 192,92 \text{ mm}^2$$

luas tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 192,92 \text{ mm}^2 + 38,21 \text{ mm}^2 \\ &= 231,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{A_{\text{tulangan lentur}}}$$

$$n = \frac{231,13 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,15 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **2D16**

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tarik}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 402,12 \text{ mm}^2 \geq 231,13 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{perlu}}} &= 0,3 (A_{s_{\text{pasang}}}) \\ &= 0,3 (402,12 \text{ mm}^2) \\ &= 120,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{\text{perlu}}}}{A_{\text{Luasan D lentur}}}$$

$$n = \frac{120,64 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,6 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D16**

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tekan}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s'_{\text{pasang}}} \geq A_{s'_{\text{perlu}}} = 402,12 \text{ mm}^2 \geq 120,64 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis **2D16** dan tulangan tekan 1 lapis **2D16**.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{200 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 88 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 88 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{200 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 88 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 88 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B2-2 (20/25) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (402,12 \text{ mm}^2)$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq 134,04 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

Kontrol kemampuan penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } \mathbf{2D16} = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } \mathbf{2D16} = 134,04 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{A_s \text{ pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) 200 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 31,5 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s) F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 160849,54 \left(212 - \frac{31,5}{2} \right)$$

$$M_n = 31563576,26 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$M_{n_{pasang}} > M_{n_{perlu}} = 28407218,64 \text{ Nmm} > 9952682,4 \text{ Nmm} \quad \text{(OK)}$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok induk B2-2 (20/25) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Perhitungan Tulangan Lentur LapanganGaris netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 212 \text{ mm}$$

$$Xb = 127,2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 (Xb) \\ &= (0,75) 127,2 \text{ mm} \\ &= 95,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= h - d \\ &= 250 \text{ mm} - 212 \text{ mm} \\ &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 (f_c') b (\beta_1) X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 200 \text{ mm} (0,85) 100 \text{ mm} \\ &= 433500 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{433500 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}} \end{aligned}$$

$$Asc = 1083,75 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= (Asc) f_y \left(d - \frac{(\beta_1) X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ Mnc &= 1083,75 (400) \left(212 - \frac{(0,85) 100}{2} \right) \end{aligned}$$

$$Mnc = 73478250 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu = 12765960,21 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\phi}$$

$$Mn = \frac{12765960,21 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$Mn = 14184400,23 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 14184400,23 \text{ Nmm} - 73478250 \text{ Nmm} \\ &= -59293849,77 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -59293849,77 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,0325$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{14184400,23 \text{ Nmm}}{200 \text{ mm}(212 \text{ mm})^2} = 1,58$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)1,58}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0041$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0041 < 0,0325 \quad (\mathbf{OK})$$

Luasan perlu ($A_{s_{\text{perlu}}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0041 (200 \text{ mm}) (212 \text{ mm}) \\ &= 172,792 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 172,792 \text{ mm}^2 + 38,21 \text{ mm}^2 \\ &= 210,998 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{A_{\text{tulangan lentur}}} \\ n &= \frac{210,998 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2} \end{aligned}$$

$$n = 1,05 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **2D16**

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tarik}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4} \right) \pi (16 \text{ mm})^2 = 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 402,12 \text{ mm}^2 \geq 210,998 \text{ mm}^2 \quad (\mathbf{OK})$$

Jumlah tulangan tekan:

$$A_{s'_{\text{perlu}}} = 0,3 (A_{s_{\text{pasang}}})$$

$$= 0,3 (402,12 \text{ mm}^2)$$

$$= 120,64 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As'_{perlu}}{\frac{Luasan D \text{ lentur}}{120,64 \text{ mm}^2}}$$

$$n = \frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2$$

$$n = 0,6 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D16**

$$\begin{aligned} As'_{pasang} &= n (As_{tul \text{ tekan}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$As'_{pasang} \geq As_{perlu} = 402,12 \text{ mm}^2 \geq 120,64 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis **2D16** dan tulangan tekan 1 lapis **2D16**.

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2t_{selimiut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1} \\ S_{maks} &= \frac{200 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1} \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 88 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 88 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2t_{selimiut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1} \\ S_{maks} &= \frac{200 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1} \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 88 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 88 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B2-2 (20/25) untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (402,12 \text{ mm}^2)$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq 134,04 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(OK)}$$

Kontrol kemampuan penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } \mathbf{2D16} = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } \mathbf{2D16} = 134,04 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{A_s \text{ pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) \times 200 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 31,5 \text{ mm}$$

$$Mn = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 160849,54 \left(212 - \frac{31,5}{2} \right)$$

$$Mn = 31563576,26 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}} = 28407218,64 \text{ Nmm} > 12765960,21 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok induk B2-2 (20/25) untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D16**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D16**

Perhitungan Tulangan Geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok induk. Luasan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi pembebanan yaitu

$$Vu = 20218,62 \text{ N.}$$

Momen nominal penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan

$$\text{Nilai } As_{\text{pasang}} = 402,124 \text{ mm}^2$$

$$\text{Nilai } As'_{\text{pasang}} = 402,124 \text{ mm}^2$$

1. Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan

$$As_{\text{pasang}} = 402,124 \text{ mm}^2$$



$$As'_{\text{pasang}} = 402,124 \text{ mm}^2$$

Momen nominal kiri

$$a = \left(\frac{As' (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(402,124 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})200 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 31,54 \text{ mm}$$

$$Mnl = (As')Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnl = (402,124)400 \left(212 - \frac{31,54}{2} \right)$$

$$Mnl = 31563576,3 \text{ Nmm}$$

Momen nominal kanan

$$a = \left(\frac{As (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(402,124 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})200 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 31,54 \text{ mm}$$

$$Mnr = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnr = (402,124)400 \left(212 - \frac{31,54}{2} \right)$$

$$Mnr = 31563576,3 \text{ Nmm}$$

2. Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri

$$As \text{ pasang} = 402,124 \text{ mm}^2$$



$$As' \text{ pasang} = 402,124 \text{ mm}^2$$

Momen nominal kiri

$$a = \left(\frac{As (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(402,124 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})200 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 31,54 \text{ mm}$$

$$Mnl = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{nl} = (402,124)400 \left(212 - \frac{31,54}{2} \right)$$

$$M_{nl} = 31563576,3 \text{ Nmm}$$

Momen nominal kanan

$$a = \left(\frac{As' (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(402,124 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) 200 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 31,54 \text{ mm}$$

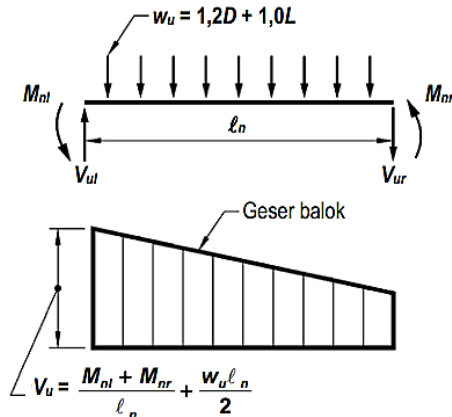
$$M_{nr} = (As') F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{nr} = (402,124)400 \left(212 - \frac{31,54}{2} \right)$$

$$M_{nr} = 31563576,3 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok, gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 gambar S21.5.4.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u (l_n)}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

Keterangan:

V_{u1} : Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan kiri

M_{nr} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan kanan

l_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyang ke kiri maka $V_{u1} = V_{u2}$

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2(1/2 b_{\text{kolom}}) \\ &= 5000 - 2(1/2 \cdot 400) \\ &= 4600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, perhitungan geser pada ujung perletakan:

$$V_u = 20218,62 \text{ N}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

$$V_{u1} = \frac{(31563576,3 + 31563576,3)}{4600} + 20218,62$$

$$V_{u1} = 33941,91 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

(SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < \frac{25}{3}$$

$$5,477 < 8,33 \quad \textbf{(OK)}$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1)

$$V_c = (0,17) \lambda \sqrt{f_c'} (b) d$$

$$V_c = 0,17(1) \sqrt{30} (200) 212$$

$$V_c = 39479,84 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} (b) d$$

$$Vs_{min} = \frac{1}{3}(200 \text{ mm})(212 \text{ mm})$$

$$Vs_{min} = 14133,33 \text{ N}$$

$$Vs_{max} = \frac{1}{3}\sqrt{fc'}(b)d$$

$$Vs_{max} = \frac{1}{3}\sqrt{30}(200 \text{ mm})(212 \text{ mm})$$

$$Vs_{max} = 77411,455 \text{ N}$$

$$2Vs_{max} = 2(77411,455 \text{ N})$$

$$2Vs_{max} = 154822,91 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadai 3 wilayah yaitu:

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$Vu_1 = 33941,91 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser

Vu	\leq	$\frac{1}{2}(\phi)Vc$
33941,91 N	$>$	14804,94 N

(TIDAK OK)

2. Kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum

$\frac{1}{2}(\phi)Vc$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc)$
14804,94 N	$<$	33941,91 N	$>$	29609,88 N

(TIDAK OK)

3. Kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum

$\phi(V_c)$	\leq	V_u	\leq	$\phi(V_c + V_{s_{min}})$
29609,88 N	$<$	33941,91 N	$<$	40209,88 N

(OK)

4. Kondisi 4 → memerlukan tulangan geser

$\phi(V_c + V_{s_{min}})$	\leq	V_u	\leq	$\phi(V_c + V_{s_{max}})$
40209,88 N	$>$	33941,91 N	$<$	87668,47 N

(TIDAK OK)

5. Kondisi 5 → memerlukan tulangan geser

$\phi(V_c + V_{s_{max}})$	\leq	V_u	\leq	$\phi(V_c + 2V_{s_{max}})$
87668,47 N	$>$	33941,91 N	$<$	145727,06 N

(TIDAK OK)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 3, yaitu memerlukan tulangan geser. Sehingga, beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

Syarat spasi tulangan:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\leq d/4 \leq 600 \text{ mm} \\
 S_{maks} &= d/4 \\
 &= 212 \text{ mm}/4 \\
 &= 53 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 S_{pakai} &< S_{maks} \\
 50 \text{ mm} &< 53 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan spasi tulangan **50 mm**. Sehingga luas penampang tulangan geser:

$$\begin{aligned}
 A_{v_{min}} &= \frac{b_w(S_{pakai})}{f_{yv}(3)} \\
 &= \frac{200 \text{ mm}(50 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}(3)} \\
 A_{v_{min}} &= 13,89 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka, luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = 0,25\pi(d)^2(n_{kaki})$$

$$A_v = 0,25\pi(12)^2(2)$$

$$A_v = 226,2 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$A_v > A_{v_{\min}} = 226,2 \text{ mm}^2 > 13,89 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

a) $d/4$

b) delapan kali diameter tulangan longitudinal

c) 24 kali diameter sengkang dan

d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

a. $S_{\text{pakai}} < d/4$

$$50 \text{ mm} < 212 \text{ mm}/4$$

$$50 \text{ mm} < 53 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

b. $S_{\text{pakai}} < 8 (D_{\text{lentur}})$

$$50 \text{ mm} < 8(16 \text{ mm})$$

$$50 \text{ mm} < 128 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

c. $S_{\text{pakai}} < 24(D_{\text{geser}})$

$$50 \text{ mm} < 24(12 \text{ mm})$$

$$50 \text{ mm} < 288 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

d. $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$

$$50 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan tulangan geser (sengkang) **Ø12-50 mm** pada daerah tumpuan kanan dan kiri dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu_2}{0,5 \ln - 2h} = \frac{Vu_1}{0,5 \ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1(0,5 \ln - 2h)}{0,5 \ln}$$

$$Vu_2 = \frac{33941,91(0,5(4600) - (2)250)}{0,5(4600)}$$

$$Vu_2 = 26563,24 \text{ N}$$

Cek kondisi:

$$Vu_2 = 26563,24 \text{ N}$$

1. Kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser

Vu	\leq	$\frac{1}{2}(\phi)Vc$
26563,24 N	$>$	14804,94 N

(TIDAK OK)

2. Kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum

$\frac{1}{2}(\phi)Vc$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc)$
14804,94 N	$<$	26563,24 N	$<$	29609,88 N

(OK)

3. Kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum

$\phi(Vc)$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc + Vs_{min})$
29609,88 N	$>$	26563,24 N	$<$	40209,88 N

(TIDAK OK)

4. Kondisi 4 → memerlukan tulangan geser

$\phi(Vc + Vs_{min})$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc + Vs_{max})$
40209,88 N	$>$	26563,24 N	$<$	87668,47 N

(TIDAK OK)

5. Kondisi 5 → memerlukan tulangan geser

$\phi(Vc + Vs_{max})$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc + 2Vs_{max})$
87668,47 N	$>$	26563,24 N	$<$	145727,06 N

(TIDAK OK)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 2, yaitu memerlukan tulangan geser. Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

Syarat spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{maks} &\leq d/2 \leq 600 \text{ mm} \\ S_{maks} &= d/2 \\ &= 212 \text{ mm}/2 \\ &= 106 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} S_{pakai} &< S_{maks} \\ 100 \text{ mm} &< 106 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Maka, digunakan spasi tulangan **100 mm**. Sehingga luas penampang tulangan geser:

$$\begin{aligned} A_{v_{min}} &= \frac{b_w(S_{pakai})}{f_{yv}(3)} \\ A_{v_{min}} &= \frac{200 \text{ mm}(100 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}(3)} \end{aligned}$$

$$A_{v_{min}} = 27,78 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka, luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25\pi(d)^2(n_{kaki}) \\ A_v &= 0,25\pi(12)^2(2) \\ A_v &= 226,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$A_v > A_{v_{min}} = 226,2 \text{ mm}^2 > 27,78 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{\text{pakai}} < d/4$
 $100 \text{ mm} < 212 \text{ mm}/2$
 $100 \text{ mm} < 106 \text{ mm}$ (OK)
- b. $S_{\text{pakai}} < 8(D_{\text{lentur}})$
 $100 \text{ mm} < 8(16 \text{ mm})$
 $100 \text{ mm} < 128 \text{ mm}$ (OK)
- c. $S_{\text{pakai}} < 24(D_{\text{geser}})$
 $100 \text{ mm} < 24(12 \text{ mm})$
 $100 \text{ mm} < 288 \text{ mm}$ (OK)
- d. $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

Jadi digunakan tulangan geser (sengkang) **Ø12-100 mm** pada daerah tumpuan kanan dan kiri dipasang sejajar 50 mm dari ujung perletakan balok.

Perhitungan Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D25 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3, dan 12.5.

1. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

$$ld = \left(\frac{F_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

Dimana,

Ψ_t = Faktor lokasi tulangan, 1

Ψ_e = Faktor pelapis tulangan, 1

λ = Beton normal, 1

Maka,

$$ld = \left(\frac{400 \text{ Mpa}(1)1}{1,7(1)\sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) 16 \text{ mm}$$

$$ld = 687,338 \text{ mm}$$

Syarat:

$$L_d > 300 \text{ mm}$$

$$687,338 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$ld_{\text{reduksi}} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{pasang}}} l_d$$

$$ld_{\text{reduksi}} = \frac{327,13 \text{ mm}^2}{402,12 \text{ mm}^2} 687,338 \text{ mm}$$

$$ld_{\text{reduksi}} = 559,16 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

2. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \frac{0,24F_y}{\lambda\sqrt{f_c'}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24(400 \text{ Mpa})}{1\sqrt{30 \text{ Mpa}}} 16$$

$$l_{dc} = 280,43 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043(F_y)d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 (400 \text{ Mpa}) 16 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $L_{dc} = 280,43 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$ld_{\text{reduksi}} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{pasang}}} l_{dc}$$

$$ld_{\text{reduksi}} = \frac{120,64 \text{ mm}^2}{402,12 \text{ mm}^2} 280,43 \text{ mm}$$

$$ld_{\text{reduksi}} = 84,1 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

3. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$ld = \left(\frac{0,24(fy)\Psi_e}{\lambda\sqrt{fc'}} \right) d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$ld = \left(\frac{0,24(400 \text{ Mpa})1}{1\sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) 16$$

$$\geq 8(16 \text{ mm}) \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$ld = 280,43 \text{ mm} \geq 128 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$ld = 280,43 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.5.1.3 Desain Struktur Balok Bordes

Frame	: 64
Tipe balok	: Balok Bordes
Bentang sloof (L)	: 5000 mm
Dimensi sloof (B_{balok})	: 300 mm
Dimensi sloof (H_{balok})	: 400 mm
Mutu beton (fc')	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (fy)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (fys)	: 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (fyt)	: 400 Mpa
Diameter tulangan lentur (D)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (ϕ)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 13 mm
Spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm
(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)	
Tebal selimut beton (decking)	: 40 mm
(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))	
Faktor β_1	: 0,85
(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)	
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,9
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)	
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)	
Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ)	: 0,75
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)	

Tinggi efektif sloof :

$$d = h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}}$$

$$d = (400 - 40 - 10 - (1/2) 19) \text{ mm}$$

$$d = 350,5 \text{ mm}$$

$$d' = h - d$$

$$d' = 400 \text{ mm} - 350,5 \text{ mm}$$

$$d' = 49,5 \text{ mm}$$

Hasil Output SAP 2000

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan sloof.

Hasil Output Torsi

Momen Puntir : 10278007,09 Nmm

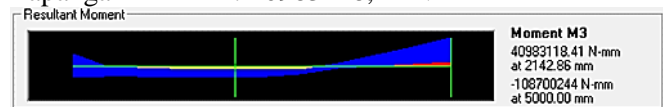


P : 18610,44 N

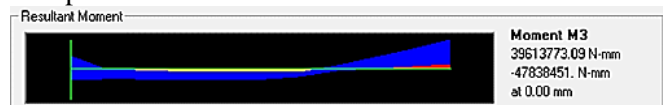


Hasil Output Momen Lentur

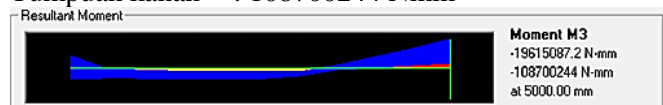
Lapangan : 40983118,41 Nmm



Tumpuan kiri : 47838451 Nmm



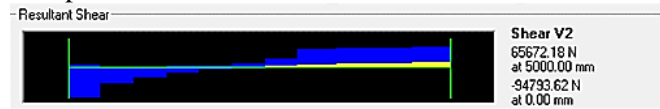
Tumpuan kanan : 108700244 Nmm



Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari maka komponen struktur penumpu. Maka, Vu diambil sebesar:

Tumpuan : 94793,62 N



Lapangan : 0

Syarat Gaya Aksial Balok

Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2. Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, **Pu**, untuk komponen struktur tidak melebihi $\frac{A_g f_c'}{10}$ dengan perhitungan dibawah ini:

$$\frac{A_g(f_c')}{10} > P$$

$$\frac{(300 \text{ mm})(400 \text{ mm})(30 \text{ Mpa})}{10} > 18610,44 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi pada komponen struktur yang ditinjau sebesar 18610,44 N

Maka sesuai persamaan :

$$P_u < \frac{A_g F_c'}{10}$$

$$18610,44 \text{ N} < 360000 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang Terhadap Beban Geser Dan Puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} (h_{balok})$$

$$A_{cp} = 300 \text{ mm} (400 \text{ mm})$$

$$A_{cp} = 120000 \text{ mm}^2$$

Parameter luas irisan penampang beton Acp:

$$P_{cp} = 2 (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 1400 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$A_{oh} = (300 \text{ mm} - 2.40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})(400 \text{ mm} - 2.40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 65100 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(300\text{mm} - 2.40\text{mm} - 10\text{mm}) + (400\text{mm} - 2.40\text{mm} - 10\text{mm})]$$

$$P_{oh} = 1040 \text{ mm}$$

Perhitungan Tulangan Puntir:

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi pembebanan

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 10278007,09 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{10278007,09 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$T_n = 13704009,45 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktot (T_u) besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini:

$$T_{u_{min}} = \phi(0,083)\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

$$T_{u_{min}} = 0,75(0,083)1\sqrt{30}\left(\frac{120000^2}{1400}\right)$$

$$Tu_{min} = 3506989,29 \text{ Nmm}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1 (a))

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimal (T_u) dapat diambil sebesar:

$$Tu_{max} = \varphi(0,33)\lambda\sqrt{f'c'}\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right)$$

$$Tu_{max} = \varphi(0,33)1\sqrt{30}\left(\frac{120000^2}{1400}\right)$$

$$Tu_{max} = 13943451,39 \text{ Nmm}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.2.2 (a))

Cek pengaruh momen puntir

$Tu < Tu_{min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$Tu > Tu_{min}$, maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi :

$Tu > Tu_{min} = 10278007,09 \text{ Nmm} > 3506989,29 \text{ Nmm}$,
maka **puntir diperhitungkan**.

Jadi penampang sloof memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang dan sengkang-sengkang tertutup.

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3:**

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bd}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7A_o h^2}\right)^2} \leq \varphi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \frac{bd}{bd} + \left(\frac{2\sqrt{f'c'}}{3} \right) \right)$$

$$1,74 \leq 4,564$$

(memenuhi)

Maka penampang balok induk mencukup untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan (SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7) direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$Al = \frac{At}{s} (Ph) \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset$$

Dengan At/s dihitung sesuai dengan (**SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6**) berasal dari persamaan berikut:

$$Tn = \frac{2(A_o)At(F_{yt})}{s} \cot \emptyset$$

Untuk beton non prategang $\emptyset = 45^\circ$

Dimana, $A_o = 0,85 A_{oh}$

Maka,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 (65100 \text{ mm}^2) \\ &= 55335 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2(A_o)At(F_{yt})\cot \emptyset} \\ \frac{At}{s} &= \frac{13704009,45 \text{ Nmm}}{2(55335 \text{ mm}^2)400 \text{ Mpa}(\cot 45)} \\ \frac{At}{s} &= 0,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga Tulangan puntir untuk lentur:

$$\begin{aligned} Al &= \frac{At}{s} (P_{oh}) \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset \\ Al &= (0,31 \text{ mm})1040 \text{ mm} \left(\frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) (\cot^2 45) \\ Al &= 198,76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan (**SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3**) tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &\geq \frac{0,175(B_w)}{F_{yt}} \\ \frac{At}{s} &\geq \frac{0,175(300 \text{ mm})}{400 \text{ Mpa}} \end{aligned}$$

$$0,50 \text{ mm} \geq 0,131 \text{ mm}$$

Maka nilai At/s diambil yang terbesar = 0,50 mm

Periksa nilai Al_{min} dengan persamaan:

$$Al_{min} = \left(\left(\frac{0,42\sqrt{fc'}(Acp)}{Fy} - \frac{At}{s} \right) (Poh) \frac{Fyt}{Fy} \right)$$

$$Al_{min} = \left(\left(\frac{0,42\sqrt{30}(120000)}{400} - 0,31 \right) 1040 \frac{400}{400} \right)$$

$$Al_{min} = 168,64 \text{ mm}^2$$

Periksa penggunaan Al dengan 2 kondisi sebagai berikut.

Al perlu \leq Al min, maka menggunakan Al min

Al perlu \geq Al min, maka menggunakan Al perlu

Maka nilai Al_{min} :

$$Al_{perlu} \leq Al_{min} = 198,76 \text{ mm}^2 \leq 168,64 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai Al_{perlu} sebesar 198,76 mm^2 . Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang sloof sehingga sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{Al}{4} = \frac{198,76 \text{ mm}^2}{4} = 49,69 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya:

- Pada sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 92,045 mm^2 . Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$Al_{perlu} = 2 \left(\frac{Al}{4} \right)$$

$$Al_{perlu} = 2 \left(\frac{198,76 \text{ mm}^2}{4} \right)$$

$$Al_{perlu} = 99,38 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13 pada tulangan puntir untuk kedua sisinya yaitu sisi kiri dan sisi kanan sejumlah:

$$n = \frac{A_l}{\text{Luas tulangan}} = \frac{99,38 \text{ mm}^2}{0,25\pi(13 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,75 \text{ buah} \approx 2 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan puntir **2D13**

$$A_{l_{pasang}} = (n_{pasang})A_{tulangan \text{ puntir}}$$

$$A_{l_{pasang}} = 2(0,25)\pi(13 \text{ mm})^2$$

$$A_{l_{pasang}} = 265,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{l_{pasang}} \geq A_{l_{perlu}} = 265,5 \text{ mm}^2 \geq 99,38 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri, tumpuan kanan dan lapangan dipasang sebesar **2D13**

Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Kanan

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 350,5 \text{ mm}$$

$$Xb = 210,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{maks} &= 0,75 (Xb) \\ &= (0,75) 210,3 \text{ mm} \\ &= 157,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= h - d \\ &= 400 \text{ mm} - 350,5 \text{ mm} \\ &= 49,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$C c' = 0,85 (f c') b (\beta 1) X_{rencana}$$

$$= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 300 \text{ mm} (0,85) 150 \text{ mm}$$

$$= 975375 \text{ N}$$

Luas tulangan tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{f_y}$$

$$Asc = \frac{975375 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$Asc = 2438,44 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = (Asc)f_y \left(d - \frac{(\beta_1)X_{rencana}}{2} \right)$$

$$Mnc = 2438,44(400) \left(305,5 - \frac{(0,85)150}{2} \right)$$

$$Mnc = 279688781,3 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu = 10870024 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\phi}$$

$$Mn = \frac{10870024 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$Mn = 120778048,9 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 120778048,9 \text{ Nmm} - 279688781,3 \text{ Nmm}$$

$$= -1558910732,4 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -1558910732,4 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,0325$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{120778048,9 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm}(350,5 \text{ mm})^2} = 3,28$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)3,28}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0088$$

Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 > 0,0088 < 0,0325 \quad (\text{OK})$$

Luasan perlu ($A_{s_{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho (b) d \\ &= 0,0088 (300 \text{ mm}) (350,5 \text{ mm}) \\ &= 925,34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 925,34 \text{ mm}^2 + 49,69 \text{ mm}^2 \\ &= 975,03 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{A_{tulangan \text{ lentur}}} \\ &= \frac{975,03 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2} \end{aligned}$$

$n = 3,44 \text{ pasang} = 4 \text{ buah}$

Dipasang tulangan tarik **4D19**

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tarik}}}) \\ &= 4 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 1134,115 \text{ mm}^2 \geq 975,03 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{perlu}}} &= 0,3 (A_{s_{\text{pasang}}}) \\ &= 0,3 (1134,115 \text{ mm}^2) \\ &= 340,23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{\text{perlu}}}}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{1}{\frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$n = 1,2 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$

Dipasang tulangan tekan **2D19**

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tekan}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s'_{\text{pasang}}} \geq A_{s'_{\text{perlu}}} = 567,06 \text{ mm}^2 \geq 340,23 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis **4D19** dan tulangan tekan 1 lapis **2D19**.

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2t_{\text{selimut}}) - (2D_{\text{geser}}) - (nD_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ S_{\text{maks}} &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 41,33 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 41,33 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{\frac{n-1}{2-1}}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1}$$

$$S_{maks} = 162 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 162 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes (30/40) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{S_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 4 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (567,06 \text{ mm}^2)$$

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 189,02 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

As pakai tulangan tarik **4D19** = 1134,115 mm²

As pakai tulangan tekan **2D19** = 189,02 mm²

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1134,115 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) 300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 59,3 \text{ mm}$$

$$M_n = C c' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 453645,98 \left(350,5 - \frac{59,3}{2} \right)$$

$$M_n = 145552283,4 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$M_{n_{\text{pasang}}} > M_{n_{\text{perlu}}} = 130997055 \text{ Nmm} > 108700244 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok bordes (30/40) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **4D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Kiri

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 350,5 \text{ mm}$$

$$X_b = 210,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{\text{maks}} = 0,75 (X_b)$$

$$= (0,75) 210,3 \text{ mm}$$

$$= 157,725 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\text{min}} = h - d$$

$$= 400 \text{ mm} - 350,5 \text{ mm}$$

$$= 49,5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 (f_c') b (\beta_1) X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 300 \text{ mm} (0,85) 150 \text{ mm} \\ &= 975375 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{975375 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}} \end{aligned}$$

$$A_{sc} = 2438,44 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= (A_{sc}) f_y \left(d - \frac{(\beta_1) X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ M_{nc} &= 2438,44 (400) \left(305,5 - \frac{(0,85) 150}{2} \right) \end{aligned}$$

$$M_{nc} = 279688781,3 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_u = 47838451 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{47838451 \text{ Nmm}}{0,9} \end{aligned}$$

$$M_n = 53153834,44 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 53153834,44 \text{ Nmm} - 279688781,3 \text{ Nmm} \\ &= -226534946,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -226534946,8 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,0325$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{53153834,44 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm}(350,5 \text{ mm})^2} = 1,44$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)1,44}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0037$$

Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 > 0,0037 < 0,0325 \quad (\text{OK})$$

Luasan perlu ($A_{s_{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho (b) d \\ &= 0,0037 (300 \text{ mm}) (350,5 \text{ mm}) \\ &= 390,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 390,50 \text{ mm}^2 + 49,69 \text{ mm}^2 \\ &= 440,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{A_{\text{tulangan lentur}}}$$

$$n = \frac{440,19 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,55 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **2D19**

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tarik}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 567,06 \text{ mm}^2 \geq 440,19 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{perlu}}} &= 0,3 (A_{s_{\text{pasang}}}) \\ &= 0,3 (567,06 \text{ mm}^2) \\ &= 170,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{\text{perlu}}}}{A_{\text{Luasan D lentur}}}$$

$$n = \frac{170,12 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,6 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D19**

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tekan}}}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s'_{\text{pasang}}} \geq A_{s'_{\text{perlu}}} = 567,06 \text{ mm}^2 \geq 170,12 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis **2D19** dan tulangan tekan 1 lapis **2D19**.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimiut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{\frac{n-1}{2-1}}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1}$$

$$S_{maks} = 162 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 162 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimiut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{\frac{n-1}{2-1}}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1}$$

$$S_{maks} = 162 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 162 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes (30/40) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \end{aligned}$$

$$= 567,06 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (567,06 \text{ mm}^2)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq 189,02 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik } \mathbf{2D19} = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } \mathbf{2D19} = 189,02 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{567,06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) \times 300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 29,65 \text{ mm}$$

$$M_n = C c' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 226822,99 \left(350,5 - \frac{29,65}{2} \right)$$

$$M_n = 76138799,77 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$M_{n\text{pasang}} > M_{n\text{perlu}} = 68524919,79 \text{ Nmm} > 47838451 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok bordes (30/40) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 350,5 \text{ mm}$$

$$Xb = 210,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{maks} &= 0,75 (X_b) \\
 &= (0,75) 210,3 \text{ mm} \\
 &= 157,725 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= h - d \\
 &= 400 \text{ mm} - 350,5 \text{ mm} \\
 &= 49,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 (f_c') b (\beta_1) X_{rencana} \\
 &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 300 \text{ mm} (0,85) 150 \text{ mm} \\
 &= 975375 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{f_y} \\
 &= \frac{975375 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}}
 \end{aligned}$$

$$Asc = 2438,44 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= (Asc) f_y \left(d - \frac{(\beta_1) X_{rencana}}{2} \right) \\
 Mnc &= 2438,44 (400) \left(305,5 - \frac{(0,85) 150}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$Mnc = 279688781,3 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\mu_u = 40983118,41 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{\mu_u}{\phi} \\
 &= \frac{40983118,41 \text{ Nmm}}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$Mn = 4556798,23 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$$Mns > 0 \rightarrow \text{maka perlu tulangan lentur tekan}$$

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 4556798,23 \text{ Nmm} - 279688781,3 \text{ Nmm} \\ &= -234151983 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -234151983 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,0325$$

$$R_n = \frac{M_n}{b(d^2)} = \frac{45536798,23 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm}(350,5 \text{ mm})^2} = 1,24$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)R_n}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)1,24}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0033$$

Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 > 0,0032 < 0,0325 \quad \textbf{(OK)}$$

Nilai ρ diperbesar 30% = 0,0041

Luasan perlu ($A_{s_{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$A_{s_{perlu}} = \rho (b) d$$

$$= 0,0041 (300 \text{ mm}) (350,5 \text{ mm})$$

$$= 432,996 \text{ mm}^2$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = A_s + A_l/4$$

$$= 432,996 \text{ mm}^2 + 49,69 \text{ mm}^2$$

$$= 482,69 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{A_{\text{tulangan lentur}}}$$

$$n = \frac{482,69 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,70 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **2D19**

$$A_{s_{\text{pasang}}} = n (A_{s_{\text{tul tarik}}})$$

$$= 2 (1/4) \pi (19 \text{ mm})^2$$

$$= 567,06 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 567,06 \text{ mm}^2 \geq 482,69 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$A_{s'_{\text{perlu}}} = 0,3 (A_{s_{\text{pasang}}})$$

$$= 0,3 (567,06 \text{ mm}^2)$$

$$= 170,12 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s'_{\text{perlu}}}}{A_{\text{Luasan D lentur}}}$$

$$n = \frac{170,12 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,6 \text{ pasang} = 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D19**

$$A_{s'_{\text{pasang}}} = n (A_{s_{\text{tul tekan}}})$$

$$= 2 (1/4) \pi (19 \text{ mm})^2$$

$$= 567,06 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s'_{\text{pasang}}} \geq A_{s'_{\text{perlu}}} = 567,06 \text{ mm}^2 \geq 170,12 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis **2D19** dan tulangan tekan 1 lapis **2D19**.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 162 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 162 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 162 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 162 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes (30/40) untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (567,06 \text{ mm}^2)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq 189,02 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik 2D19} = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan 2D19} = 189,02 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{A_s \text{ pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{567,06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) \times 300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 29,65 \text{ mm}$$

$$M_n = C c' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 226822,99 \left(350,5 - \frac{29,65}{2} \right)$$

$$M_n = 76138799,77 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$M_{n_{pasang}} > M_{n_{perlu}} = 68524919,79 \text{ Nmm} > 40983118,41 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok bordes (30/40) untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D19**

Perhitungan Tulangan Geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok induk. Luasan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi pembebanan yaitu

$$V_u = 94793,62 \text{ N.}$$

Momen nominal penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan

$$\text{Nilai } A_s \text{ pasang} = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$\text{Nilai } A_s' \text{ pasang} = 567,06 \text{ mm}^2$$

1. Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan

$$A_s \text{ pasang} = 1134,115 \text{ mm}^2$$



$$A_s' \text{ pasang} = 567,06 \text{ mm}^2$$

Momen nominal kiri

$$a = \left(\frac{A_s' (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(567,06 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 29,65 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = (A_s') F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{nl} = (567,06) 400 \left(350,5 - \frac{29,65}{2} \right)$$

$$M_{nl} = 76138799,77 \text{ Nmm}$$

Momen nominal kanan

$$a = \left(\frac{As (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1134,115 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 59,30 \text{ mm}$$

$$Mnr = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnr = (1134,115)400 \left(350,5 - \frac{59,30}{2} \right)$$

$$Mnr = 145552283,4 \text{ Nmm}$$

2. Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri

$$As \text{ pasang} = 1134,115 \text{ mm}^2$$



$$As' \text{ pasang} = 567,06 \text{ mm}^2$$

Momen nominal kiri

$$a = \left(\frac{As (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1134,115 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})300 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 59,30 \text{ mm}$$

$$Mnl = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnl = (1134,115)400 \left(350,5 - \frac{59,30}{2} \right)$$

$$Mnl = 145552283,4 \text{ Nmm}$$

Momen nominal kanan

$$a = \left(\frac{As' (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(567,06 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})300 \text{ mm}} \right)$$

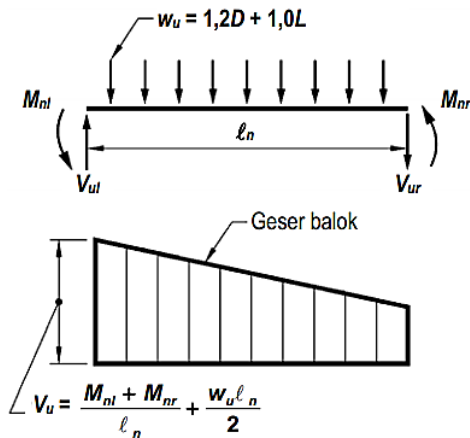
$$a = 29,65 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = (A_s') F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{nr} = (567,06) 400 \left(350,5 - \frac{29,65}{2} \right)$$

$$M_{nr} = 76138799,77 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok, gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 gambar S21.5.4. Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u (l_n)}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

Keterangan:

V_{u1} : Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan kiri

M_{nr} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan kanan

l_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $V_{u1} = V_{u2}$

$$\begin{aligned}
 l_n &= L_{\text{balok}} - 2(1/2 b_{\text{kolom}}) \\
 &= 5000 - 2(1/2 \cdot 400) \\
 &= 4600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, perhitungan geser pada ujung perletakan:

$$V_u = 94793,62 \text{ N}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= \frac{(76138799,77 + 145552283,4)}{4600} + 94793,62 \\
 &= 142987,33 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{u1} = 142987,33 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

(SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < \frac{25}{3}$$

$$5,477 < 8,33 \quad \textbf{(OK)}$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 pasal

11.2.1.1)

$$V_c = (0,17) \lambda \sqrt{f_c'} (b) d$$

$$V_c = 0,17(1) \sqrt{30} (300) 350,5$$

$$V_c = 97908,15 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} (b) d$$

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} (300 \text{ mm}) (350,5 \text{ mm})$$

$$V_{s_{min}} = 35050 \text{ N}$$

$$V_{s_{max}} = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} (b) d$$

$$V_{s_{max}} = \frac{1}{3} \sqrt{30} (300 \text{ mm}) (350,5 \text{ mm})$$

$$Vs_{max} = 191976,76 \text{ N}$$

$$2Vs_{max} = 2(191976,76 \text{ N})$$

$$2Vs_{max} = 383953,51 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu:

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$Vu_1 = 142987,33 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser

Vu	\leq	$\frac{1}{2}(\phi)Vc$
142987,33 N	$>$	36715,55 N

(TIDAK OK)

2. Kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum

$\frac{1}{2}(\phi)Vc$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc)$
36715,55 N	$<$	142987,33 N	$>$	73431,11 N

(TIDAK OK)

3. Kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum

$\phi(Vc)$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc + Vs_{min})$
73431,11 N	$<$	142987,33 N	$>$	99718,61 N

(TIDAK OK)

4. Kondisi 4 → memerlukan tulangan geser

$\phi(Vc + Vs_{min})$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc + Vs_{max})$
99718,61 N	$<$	142987,33 N	$<$	217413,68 N

(OK)

5. Kondisi 5 → memerlukan tulangan geser

$\phi(Vc+Vs_{\max})$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc+2Vs_{\max})$
217413,68 N	$>$	142987,33 N	$<$	361396,24 N

(TIDAK OK)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 4, yaitu memerlukan tulangan geser. Sehingga, beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$Vs_{\text{perlu}} = \frac{Vu}{\phi} - Vc$$

$$Vs_{\text{perlu}} = \frac{142987,33 \text{ N}}{0,75} - 97908,15 \text{ N}$$

$$Vs_{\text{perlu}} = 92741,63 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av_{\text{pakai}} = \frac{1}{4} \pi (d^2) n_{\text{kaki}}$$

$$Av_{\text{pakai}} = \frac{1}{4} \pi (12 \text{ mm})^2 2$$

$$Av_{\text{pakai}} = 226,2 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$S_{\text{pakai}} = \frac{Av_1 (fy) d}{Vs_{\text{perlu}}}$$

$$S_{\text{pakai}} = \frac{226,2 \text{ mm}^2 (400 \text{ mm}) 350,5 \text{ mm}}{92741,63 \text{ N}}$$

$$S_{\text{pakai}} = 341,9 \text{ mm} = 85 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\text{maks}} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = d/4$$

$$= 350,5 \text{ mm}/4$$

$$= 87,625 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Maka, digunakan spasi tulangan 85 mm. Sehingga luas penampang tulangan geser:

$$Av_{perlu} = \frac{Vs_{perlu}(S_{pakai})}{f_{yv}(d)}$$

$$Av_{perlu} = \frac{92741,63 \text{ N}(85 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}(350,5 \text{ mm})}$$

$$Av_{perlu} = 93,71 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup. Apabila diketahui besar pengaruh momen puntir:

$$\frac{At}{s} = 0,298$$

Maka nilai At adalah:

$$At = \left(\frac{At}{s}\right) S_{pakai}$$

$$At = (0,501)(85 \text{ mm})$$

$$At = 42,6 \text{ mm}$$

Sehingga, luas gabungan:

$$Av_{perlu} + 2(At) = 93,71 \text{ mm}^2 + 2(42,6 \text{ mm})$$

$$Av_{perlu} + 2(At) = 178,96 \text{ mm}^2$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$Av + 2(At) = 0,062\sqrt{f_c'} \frac{b(S_{pakai})}{f_{yv}}$$

$$Av + 2(At) = 0,062\sqrt{30 \text{ Mpa}} \frac{300 \text{ mm}(85 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}}$$

$$Av + 2(At) = 36,08 \text{ mm}^2$$

$$Av + 2(At) = 0,35 \frac{b(S_{pakai})}{f_{yv}}$$

$$Av + 2(At) = 0,35 \frac{300 \text{ mm}(85 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}}$$

$$Av + 2(At) = 37,19 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan nilai Av_{perlu} menggunakan:

$$Av_{perlu} + 2(At) = 178,96 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$Av_{\text{pakai}} > Av_{\text{perlu}} = 226,2 \text{ mm}^2 > 178,96 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{\text{pakai}} < d/4$
 $85 \text{ mm} < 350,5 \text{ mm}/4$
 $85 \text{ mm} < 87,625 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- b. $S_{\text{pakai}} < 8 (D_{\text{lentur}})$
 $85 \text{ mm} < 8(19 \text{ mm})$
 $85 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- c. $S_{\text{pakai}} < 24(D_{\text{geser}})$
 $85 \text{ mm} < 24(12 \text{ mm})$
 $85 \text{ mm} < 288 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- d. $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $85 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

Jadi digunakan tulangan geser (sengkang) **Ø12-85 mm** pada daerah tumpuan kanan dan kiri dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu_2}{0,5 \ln - 2h} = \frac{Vu_1}{0,5 \ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1(0,5 \ln - 2h)}{0,5 \ln}$$

$$Vu_2 = \frac{142987,33(0,5(4600) - (2)400)}{0,5(4600)}$$

$$Vu_2 = 93252,61 \text{ N}$$

Cek kondisi:

$$Vu_2 = 93252,61 \text{ N}$$

1. Kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser

Vu	\leq	$\frac{1}{2}(\phi)Vc$
93252,61 N	$>$	36715,55 N

(TIDAK OK)

2. Kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum

$\frac{1}{2}(\phi)Vc$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc)$
36715,55 N	$<$	93252,61 N	$>$	73431,11 N

(TIDAK OK)

3. Kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum

$\phi(Vc)$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc+Vs_{min})$
73431,11 N	$<$	93252,61 N	$<$	99718,61 N

(OK)

4. Kondisi 4 → memerlukan tulangan geser

$\phi(Vc+Vs_{min})$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc+Vs_{max})$
99718,61 N	$>$	93252,61 N	$<$	217413,68 N

(TIDAK OK)

5. Kondisi 5 → memerlukan tulangan geser

$\phi(Vc+Vs_{max})$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc+2Vs_{max})$
217413,68 N	$>$	93252,61 N	$<$	361396,24 N

(TIDAK OK)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 3, yaitu memerlukan tulangan geser. Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

Syarat spasi tulangan:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\leq d/2 \leq 600 \text{ mm} \\
 S_{maks} &= d/2 \\
 &= 350,5 \text{ mm}/2 \\
 &= 175,25 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 S_{pakai} &< S_{maks} \\
 150 \text{ mm} &< 175,25 \text{ mm} \quad \text{(OK)}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan spasi tulangan **150 mm**. Sehingga luas penampang tulangan geser:

$$\begin{aligned}
 Av_{min} &= \frac{b_w(S_{pakai})}{f_{yv}(3)} \\
 Av_{min} &= \frac{300 \text{ mm}(150 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}(3)} \\
 Av_{min} &= 62,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka, luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned}
 Av &= 0,25\pi(d)^2(n_{kaki}) \\
 Av &= 0,25\pi(12)^2(2) \\
 Av &= 226,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$Av > Av_{min} = 226,2 \text{ mm}^2 > 62,5 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- d/4
- delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang dan
- 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{\text{pakai}} < d/4$
 $150 \text{ mm} < 350,5 \text{ mm}/2$
 $150 \text{ mm} < 175,25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- b. $S_{\text{pakai}} < 8(D_{\text{lentur}})$
 $150 \text{ mm} < 8(19 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- c. $S_{\text{pakai}} < 24(D_{\text{geser}})$
 $150 \text{ mm} < 24(12 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 288 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- d. $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

Jadi digunakan tulangan geser (sengkang) **Ø12-150 mm** pada daerah tumpuan kanan dan kiri dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

Perhitungan Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D25 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3, dan 12.5.

1. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

$$ld = \left(\frac{F_y \cdot \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

Dimana,

Ψ_t = Faktor lokasi tulangan, 1

Ψ_e = Faktor pelapis tulangan, 1

λ = Beton normal, 1

Maka,

$$ld = \left(\frac{400 \text{ Mpa}(1)1}{1,7(1)\sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) 19 \text{ mm}$$

$$ld = 816,214 \text{ mm}$$

Syarat:

$$L_d > 300 \text{ mm}$$

$$816,214 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$ld_{reduksi} = \frac{Asperlu}{Aspasang} l_d$$

$$ld_{reduksi} = \frac{1017,38 \text{ mm}^2}{1134,115 \text{ mm}^2} 816,214 \text{ mm}$$

$$ld_{reduksi} = 732,20 \text{ mm} \approx 750 \text{ mm}$$

2. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \frac{0,24F_y}{\lambda\sqrt{f_c'}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24(400 \text{ Mpa})}{1\sqrt{30 \text{ Mpa}}} 19$$

$$l_{dc} = 333,02 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043(F_y)d_b$$

$$l_{dc} = 0,043(400 \text{ Mpa}) 19 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 326,8 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $L_{dc} = 333,02 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$ld_{reduksi} = \frac{Asperlu}{Aspasang} l_{dc}$$

$$ld_{reduksi} = \frac{340,23 \text{ mm}^2}{567,06 \text{ mm}^2} 333,02 \text{ mm}$$

$$ld_{reduksi} = 199,81 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

3. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$ld = \left(\frac{0,24(f_y)\Psi_e}{\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$ld = \left(\frac{0,24(400 \text{ Mpa})1}{1\sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) 19$$

$$\geq 8(19 \text{ mm}) \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$ld = 333,02 \text{ mm} \geq 152 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$ld = 333,02 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.5.1.4 Desain Struktur Sloof

Data-Data Perencanaan

Frame	: 17
Tipe sloof	: Sloof (S1)
Bentang sloof (L)	: 5000 mm
Dimensi sloof (B_{balok})	: 350 mm
Dimensi sloof (H_{balok})	: 500 mm
Mutu beton (f_c')	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{ys})	: 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 Mpa
Diameter tulangan lentur (D)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 13 mm
Spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (decking)	: 40 mm
-------------------------------	---------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))

Faktor β_1	: 0,85
------------------	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,9
---	-------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ)	: 0,75
--	--------

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Gambar denah perencanaan :

Tinggi Balok

Tinggi efektif sloof :

$$d = h - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}}$$

$$= (500 - 40 - 10 - (1/2) 19) \text{ mm} = 450,5 \text{ mm}$$

$$d' = h - d$$

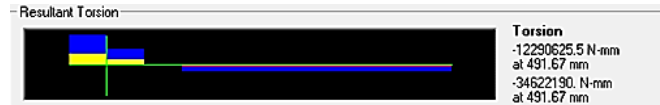
$$= 500 \text{ mm} - 450,5 \text{ mm} = 49,5 \text{ mm}$$

Hasil Output SAP 2000

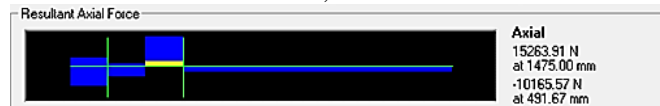
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan sloof.

Hasil Output Torsi

Momen Puntir : 34622190 Nmm



P : 15263,91 N

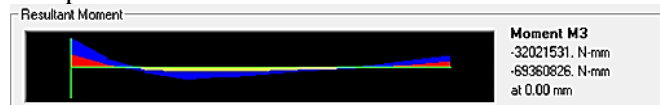


Hasil Output Momen Lentur

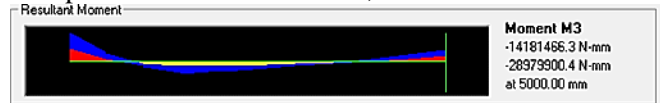
Lapangan : 26438787,61 Nmm



Tumpuan kiri : 69360826 Nmm



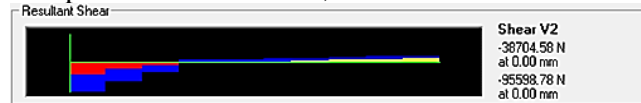
Tumpuan kanan : 28979900,4 Nmm



Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, V_u diambil sebesar:

Tumpuan : 95598,78 N



Lapangan : 0

Syarat Gaya Aksial Balok

Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2**. Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, **Pu**, untuk komponen struktur tidak melebihi **Ag.fc'/10** dengan perhitungan dibawah ini:

$$\frac{Ag(f_c')}{10} > P$$

$$\frac{(350 \text{ mm})(500 \text{ mm})(30 \text{ Mpa})}{10} > 15263,91 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi pembebanan pada komponen struktur yang ditinjau sebesar 15263,91 N

Maka sesuai persamaan :

$$Pu < \frac{Ag Fc'}{10}$$

$$15263,91 \text{ N} < 525000 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang Terhadap Beban Geser Dan Puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} (h_{balok})$$

$$A_{cp} = 350 \text{ mm} (500 \text{ mm})$$

$$A_{cp} = 175000 \text{ mm}^2$$

Parameter luas irisan penampang beton Acp:

$$P_{cp} = 2 (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 (350 \text{ mm} + 500 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 1700 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$A_{oh} = (350 \text{ mm} - 2.40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})(500 \text{ mm} - 2.40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 106600 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(350\text{mm} - 2.40\text{mm} - 10\text{mm}) + (500\text{mm} - 2.40\text{mm} - 10\text{mm})]$$

$$P_{oh} = 1340 \text{ mm}$$

Perhitungan Tulangan Puntir:

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi pembebanan

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 34622190 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{34622190 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$T_n = 46162920 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktot (T_u) besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini:

$$T_{u_{min}} = \phi(0,083)\lambda\sqrt{f'c'}\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right)$$

$$T_{u_{min}} = 0,75(0,083)1\sqrt{30}\left(\frac{175000^2}{1700}\right)$$

$$T_{u_{min}} = 6142245,335 \text{ Nmm}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1 (a))

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimal (T_u) dapat diambil sebesar:

$$Tu_{max} = \varphi(0,33)\lambda\sqrt{fc'}\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right)$$

$$Tu_{max} = \varphi(0,33)1\sqrt{30}\left(\frac{175000^2}{1700}\right)$$

$$Tu_{max} = 24420975,43 \text{ Nmm}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.2.2 (a))

Cek pengaruh momen puntir

$Tu < Tu_{min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$Tu > Tu_{min}$, maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi :

$Tu > Tu_{min} = 34622190 \text{ Nmm} > 6142245,335 \text{ Nmm}$,
maka **puntir diperhitungkan**.

Jadi penampang sloof memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang dan sengkang-sengkang tertutup.

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3:**

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bd}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7Aoh^2}\right)^2} \leq \varphi \left(\frac{\frac{1}{6}\sqrt{fc'}bd}{bd} + \left(\frac{2\sqrt{fc'}}{3}\right) \right)$$

$$2,48 \leq 4,564$$

(memenuhi)

Maka penampang balok induk mencukup untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan (SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7) direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s}(Ph)\left(\frac{F_{yt}}{F_y}\right)\cot^2 \emptyset$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan (SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6) berasal dari persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2(A_o)At(Fyt)}{s} \cot \emptyset$$

Untuk beton non prategang $\emptyset = 45^\circ$

Dimana, $A_o = 0,85 A_{oh}$

Maka,

$$A_o = 0,85 A_{oh}$$

$$= 0,85 (106600 \text{ mm}^2)$$

$$= 90610 \text{ mm}^2$$

$$\frac{At}{s} = \frac{T_n}{2(A_o)At(Fyt) \cot \emptyset}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{46192620 \text{ Nmm}}{2(90610 \text{ mm}^2)400 \text{ Mpa}(\cot 45)}$$

$$\frac{At}{s} = 1,03 \text{ mm}$$

Sehingga Tulangan puntir untuk lentur:

$$Al = \frac{At}{s} (P_{oh}) \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset$$

$$Al = (1,03 \text{ mm})1340 \text{ mm} \left(\frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) (\cot^2 45)$$

$$Al = 526,8 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan (***SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3***)

tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175(B_w)}{F_{yt}}$$

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175(350 \text{ mm})}{400 \text{ Mpa}}$$

$$1,03 \text{ mm} \geq 0,153 \text{ mm}$$

Maka nilai At/s diambil yang terbesar = 1,03 mm

Periksa nilai Al_{min} dengan persamaan:

$$Al_{min} = \left(\left(\frac{0,42\sqrt{f'c'}(A_{cp})}{F_y} - \frac{At}{s} \right) (P_{oh}) \frac{F_{yt}}{F_y} \right)$$

$$Al_{min} = \left(\left(\frac{0,42\sqrt{30}(175000)}{400} - 1,03 \right) 1340 \frac{400}{400} \right)$$

$$Al_{min} = -375,81 \text{ mm}^2$$

Periksa penggunaan Al dengan 2 kondisi sebagai berikut.

Al perlu \leq Al min, maka menggunakan Al min

Al perlu \geq Al min, maka menggunakan Al perlu

Maka nilai Al_{min} :

$$Al_{perlu} \leq Al_{min} = 526,8 \text{ mm}^2 \leq -375,81 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai Al_{perlu} sebesar $526,8 \text{ mm}^2$. Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang sloof sehingga sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{Al}{4} = \frac{526,8 \text{ mm}^2}{4} = 131,71 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya :

- Pada sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $131,71 \text{ mm}^2$. Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$Al_{perlu} = 2 \left(\frac{Al}{4} \right)$$

$$Al_{perlu} = 2 \left(\frac{526,8 \text{ mm}^2}{4} \right)$$

$$Al_{perlu} = 263,42 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13 pada tulangan puntir untuk kedua sisinya yaitu sisi kiri dan sisi kanan sejumlah:

$$n = \frac{Al}{\text{Luas tulangan}}$$

$$n = \frac{263,42 \text{ mm}^2}{0,25\pi(13 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,98 \text{ buah} \approx 2 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan puntir **2D13**

$$A_{l_{pasang}} = (n_{pasang})A_{tulangan \text{ puntir}}$$

$$A_{l_{pasang}} = 2(0,25)\pi(13 \text{ mm})^2$$

$$A_{l_{pasang}} = 265,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{l_{pasang}} \geq A_{l_{perlu}} = 265,5 \text{ mm}^2 \geq 263,42 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri, tumpuan kanan dan lapangan dipasang sebesar **2D13**

Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Kanan

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 450,5 \text{ mm}$$

$$Xb = 270,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{maks} &= 0,75 (Xb) \\ &= (0,75) 270,3 \text{ mm} \\ &= 202,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= h - d \\ &= 500 \text{ mm} - 450,5 \text{ mm} \\ &= 49,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 120 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 (f_c')b(\beta_1)X_{rencana} \\ &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 350 \text{ mm} (0,85) 120 \text{ mm} \\ &= 910350 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{f_y}$$

$$Asc = \frac{910350 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$Asc = 2275,875 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = (Asc)f_y \left(d - \frac{(\beta_1)X_{rencana}}{2} \right)$$

$$Mnc = 2275,875(400) \left(405,5 - \frac{(0,85)120}{2} \right)$$

$$Mnc = 363684825 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu = 28979900,4 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\phi}$$

$$Mn = \frac{28979900,4 \text{ Nmm}}{0,9} = 32199889,33 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 32199889,33 \text{ Nmm} - 363684825 \text{ Nmm} \\ &= -331484935,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -331484935,7 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69.$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,0325$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{32199889,33 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm}(450,5 \text{ mm})^2} = 0,45$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)0,45}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0011$$

Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 > 0,0011 < 0,0325 \quad (\text{OK})$$

Maka, nilai ρ diperbesar 30% = 0,0015

Luasan perlu ($A_{s_{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho_{min} (b)d \\ &= 0,0035 (350 \text{ mm}) (450,5 \text{ mm}) \\ &= 551,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 551,86 \text{ mm}^2 + 131,71 \text{ mm}^2 \\ &= 683,572 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{A_{tulangan \text{ lentur}}}$$

$$n = \frac{683,572 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi(19 \text{ mm})^2}$$

$n = 2,41 \text{ pasang} = 3 \text{ buah}$

Dipasang tulangan tarik **3D19**

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tarik}}}) \\ &= 3 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 850,59 \text{ mm}^2 \geq 683,572 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{perlu}}} &= 0,3 (A_{s_{\text{pasang}}}) \\ &= 0,3 (850,59 \text{ mm}^2) \\ &= 255,176 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{\text{perlu}}}}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{1}{\frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$n = 0,9 \text{ pasang} = 3 \text{ buah}$

Dipasang tulangan tekan **3D19**

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tekan}}}) \\ &= 3 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,586 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s'_{\text{pasang}}} \geq A_{s'_{\text{perlu}}} = 850,586 \text{ mm}^2 \geq 255,18 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis **3D19** dan tulangan tekan 1 lapis **3D19**.

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2t_{\text{selimut}}) - (2D_{\text{geser}}) - (nD_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ S_{\text{maks}} &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 96,5 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 96,5 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{\frac{n-1}{3-1}}$$

$$S_{maks} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3-1}$$

$$S_{maks} = 96,5 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 96,5 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur sloof S1 (35/50) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{S_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 3 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{pasang}} &= n_{pasang} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 3 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (850,59 \text{ mm}^2)$$

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 283,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

As pakai tulangan tarik 3D19 = 850,59 mm²

As pakai tulangan tekan 3D19 = 255,18 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik } \times Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{850,59 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) \times 350 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 38,1 \text{ mm}$$

$$Mn = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 340234,48 \left(450,5 - \frac{38,1}{2} \right)$$

$$Mn = 146790508,9 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}} = 132111458 \text{ Nmm} > 28979900,4 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur sloof S1 (35/50) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D19**

Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Kiri

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 450,5 \text{ mm}$$

$$Xb = 270,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{\text{maks}} = 0,75 (Xb)$$

$$= (0,75) 270,3 \text{ mm}$$

$$= 202,725 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\text{min}} = h - d$$

$$= 500 \text{ mm} - 450,5 \text{ mm}$$

$$= 49,5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 120 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 (f_c') b (\beta_1) X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 350 \text{ mm} (0,85) 120 \text{ mm} \\ &= 910350 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{f_y} \\ A_{sc} &= \frac{910350 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}} \end{aligned}$$

$$A_{sc} = 2275,875 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= (A_{sc}) f_y \left(d - \frac{(\beta_1) X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ M_{nc} &= 2275,875 (400) \left(405,5 - \frac{(0,85) 120}{2} \right) \end{aligned}$$

$$M_{nc} = 363684825 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_u = 69360826 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ M_n &= \frac{69360826 \text{ Nmm}}{0,9} \end{aligned}$$

$$M_n = 77067584,44 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 77067584,44 \text{ Nmm} - 363684825 \text{ Nmm} \\ &= -286617240,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -286617240,6 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,0325$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{77067584,44 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm}(450,5 \text{ mm})^2} = 1,08$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)1,08}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0028$$

Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 > 0,0028 < 0,0325 \quad \textbf{(OK)}$$

Maka, nilai ρ diperbesar 30% = 0,0036

Luasan perlu ($A_{s_{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho (b)d \\ &= 0,0036 (350 \text{ mm}) (450,5 \text{ mm}) \\ &= 568,34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 568,34 \text{ mm}^2 + 131,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$= 700,05 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{A_{\text{tulangan lentur}}}$$

$$n = \frac{700,05 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 2,47 \text{ pasang} = 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D19**

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tarik}}}) \\ &= 3 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 850,59 \text{ mm}^2 \geq 700,05 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{perlu}}} &= 0,3 (A_{s_{\text{pasang}}}) \\ &= 0,3 (850,59 \text{ mm}^2) \\ &= 255,176 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'_{\text{perlu}}}}{A_{\text{Luasan D lentur}}}$$

$$n = \frac{255,176 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,9 \text{ pasang} = 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **3D16**

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n (A_{s_{\text{tul tekan}}}) \\ &= 3 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s'_{\text{pasang}}} \geq A_{s'_{\text{perlu}}} = 850,59 \text{ mm}^2 \geq 255,18 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis **3D19** dan tulangan tekan 1 lapis **3D19**.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$S_{maks} = 96,5 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 96,5 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2t_{selimut}) - (2D_{geser}) - (nD_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$S_{maks} = 96,5 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 96,5 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur sloof S1 (35/50) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_{s_{pasang}} = n_{pasang} (A_D \text{ lentur})$$

$$= 3 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2$$

$$= 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pasang}}} &= n_{\text{pasang}} (A_D \text{ lentur}) \\
 &= 3 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (850,59 \text{ mm}^2)$$

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 283,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } \mathbf{3D19} = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } \mathbf{3D19} = 283,5 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{A_s \text{ pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{850,59 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) \times 350 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 38,1 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s) F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 340234,48 \left(450,5 - \frac{38,1}{2} \right)$$

$$M_n = 146790508,9 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$M_{n_{\text{pasang}}} > M_{n_{\text{perlu}}} = 132111458 \text{ Nmm} > 69360826 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur sloof S1 (35/50) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D19**

Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) 450,5 \text{ mm}$$

$$Xb = 270,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 (Xb) \\ &= (0,75) 270,3 \text{ mm} \\ &= 202,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= h - d \\ &= 500 \text{ mm} - 450,5 \text{ mm} \\ &= 49,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 120 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 (fc') b (\beta_1) X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 350 \text{ mm} (0,85) 120 \text{ mm} \\ &= 910350 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{f_y}$$

$$Asc = \frac{910350 \text{ N}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$Asc = 2275,875 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = (Asc) f_y \left(d - \frac{(\beta_1) X_{\text{rencana}}}{2} \right)$$

$$Mnc = 2275,875 (400) \left(405,5 - \frac{(0,85) 120}{2} \right)$$

$$Mnc = 363684825 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\mu_u = 26438787,61 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\phi}$$

$$Mn = \frac{26438787,61 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$Mn = 29376430,68 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 29376430,68 \text{ Nmm} - 363684825 \text{ Nmm} \\ &= -33408394,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -33408394,3 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan). Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan **penulangan lentur tunggal**.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{f_y}{(0,85)f'_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85(f'_c)\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 (30 \text{ Mpa}) 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,001$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_b) = 0,001$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{29376430,68 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm}(450,5 \text{ mm})^2} = 0,41$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)1,08}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,001$$

Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 > 0,001 < 0,0325 \quad (\text{OK})$$

Maka, nilai ρ diperbesar 30% = 0,0014

Luasan perlu ($A_{s\text{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho (b) d \\ &= 0,0035 (350 \text{ mm}) (450,5 \text{ mm}) \\ &= 551,8625 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 551,8625 \text{ mm}^2 + 131,71 \text{ mm}^2 \\ &= 683,572 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{A_{\text{tulangan lentur}}}$$

$$n = \frac{683,572 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 2,41 \text{ pasang} = 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D19**

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n (A_{s\text{tul tarik}}) \\ &= 3 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s\text{pasang}} \geq A_{s\text{perlu}} = 850,59 \text{ mm}^2 \geq 683,572 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s'\text{perlu}} &= 0,3 (A_{s\text{pasang}}) \\ &= 0,3 (850,59 \text{ mm}^2) \\ &= 255,176 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s'\text{perlu}}}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{255,176 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 0,9 \text{ pasang} = 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **3D16**

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{pasang}} &= n (A_{s_{\text{tul tekan}}}) \\ &= 3 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_s'_{\text{pasang}} \geq A_{s_{\text{perlu}}} = 850,59 \text{ mm}^2 \geq 255,18 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis **3D19** dan tulangan tekan 1 lapis **3D19**.

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2t_{\text{selimut}}) - (2D_{\text{geser}}) - (nD_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ S_{\text{maks}} &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 96,5 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 96,5 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2t_{\text{selimut}}) - (2D_{\text{geser}}) - (nD_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ S_{\text{maks}} &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 96,5 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 96,5 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan lentur sloof S1 (35/50) untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D19**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen

negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 3 \left(\frac{1}{4} \right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} (A_D \text{ lentur}) \\ &= 3 \left(\frac{1}{4} \right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (850,59 \text{ mm}^2)$$

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 283,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(OK)}$$

Kontrol kemampuan penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } \mathbf{3D19} = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } \mathbf{3D19} = 83,5 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{A_s \text{ pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{850,59 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 (30 \text{ Mpa}) \times 350 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 38,1 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s) F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 340234,48 \left(450,5 - \frac{38,1}{2} \right)$$

$$M_n = 146790508,9 \text{ Nmm}$$

Maka:

$$M_{n\text{pasang}} > M_{n\text{perlu}} = 132111458 \text{ Nmm} > 26438787,61 \text{ Nmm} \quad \textbf{(OK)}$$

Jadi dipasang tulangan lentur sloof S1 (35/50) untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D19**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D19**

Perhitungan Tulangan Geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok induk. Luasan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi pembebanan yaitu

$V_u = 95598,78 \text{ N}$.

Momen nominal penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan

Nilai **As pasang** = $850,59 \text{ mm}^2$

Nilai **As' pasang** = $850,59 \text{ mm}^2$

1. Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan

$As \text{ pasang} = 850,59 \text{ mm}^2$



$As' \text{ pasang} = 850,59 \text{ mm}^2$

Momen nominal kiri

$$a = \left(\frac{As' (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(830,59 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})350 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 38,12 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = (As') F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnl = (850,59)400 \left(450,5 - \frac{38,12}{2} \right)$$

$$Mnl = 146790508,9 \text{ Nmm}$$

Momen nominal kanan

$$a = \left(\frac{As (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(850,59 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})350 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 38,12 \text{ mm}$$

$$Mnr = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnr = (850,59)400 \left(450,5 - \frac{38,12}{2} \right)$$

$$Mnr = 146790508,9 \text{ Nmm}$$

2. Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri

$$As \text{ pasang} = 850,59 \text{ mm}^2$$



$$As' \text{ pasang} = 850,59 \text{ mm}^2$$

Momen nominal kiri

$$a = \left(\frac{As (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(850,59 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})350 \text{ mm}} \right)$$

$$a = 38,12 \text{ mm}$$

$$Mnl = (As)Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnl = (850,59)400 \left(450,5 - \frac{38,12}{2} \right)$$

$$Mnl = 146790508,9 \text{ Nmm}$$

Momen nominal kanan

$$a = \left(\frac{As' (f_y)}{0,85 (f_c') b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(850,59 \text{ mm}^2) 400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})350 \text{ mm}} \right)$$

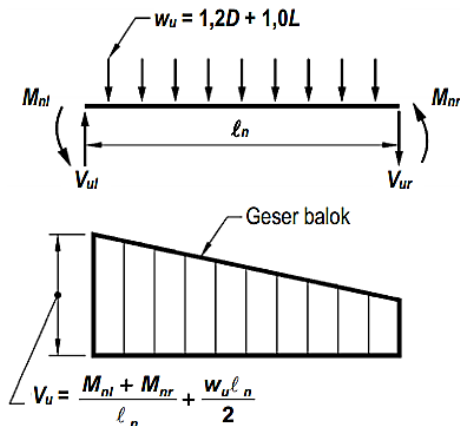
$$a = 38,12 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = (As') F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{nr} = (850,59) 400 \left(450,5 - \frac{38,12}{2} \right)$$

$$M_{nr} = 146790508,9 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok, gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 gambar S21.5.4. Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u (ln)}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

Keterangan:

V_{u1} : Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan kiri

M_{nr} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan kanan

l_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $V_{u1} = V_{u2}$

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2(1/2 b_{\text{kolom}}) \\ &= 5000 - 2(1/2 \cdot 400) \\ &= 4600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, perhitungan geser pada ujung perletakan:

$$V_u = 95598,78 \text{ N}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{(146790508,9 + 146790508,9)}{4600} + 95598,78 \\ &= 159420,74 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{u1} = 159420,74 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $25/3 \text{ MPa}$

(SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < \frac{25}{3}$$

$$5,477 < 8,33 \quad \textbf{(OK)}$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1)

$$V_c = (0,17) \lambda \sqrt{f_c'} (b) d$$

$$V_c = 0,17(1) \sqrt{30} (350) 450,5$$

$$V_c = 146815,66 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} (b) d$$

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} (350 \text{ mm})(450,5 \text{ mm})$$

$$Vs_{min} = 52558,33 \text{ N}$$

$$Vs_{max} = \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} (b) d$$

$$Vs_{max} = \frac{1}{3} \sqrt{30} (350 \text{ mm}) (450,5 \text{ mm})$$

$$Vs_{max} = 287873,85 \text{ N}$$

$$2Vs_{max} = 2(287873,85 \text{ N})$$

$$2Vs_{max} = 575747,695 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadai 3 wilayah yaitu:

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$Vu_1 = 159420,74 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser

Vu	\leq	$\frac{1}{2}(\phi)Vc$
159420,74 N	$>$	55055,87 N

(TIDAK OK)

2. Kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum

$\frac{1}{2}(\phi)Vc$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc)$
55055,87 N	$<$	159420,74 N	$>$	110111,7 N

(TIDAK OK)

3. Kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum

$\phi(V_c)$	\leq	V_u	\leq	$\phi(V_c + V_{s_{\min}})$
110111,7 N	$<$	159420,74 N	$>$	149530,5 N

(TIDAK OK)

4. Kondisi 4 → memerlukan tulangan geser

$\phi(V_c + V_{s_{\min}})$	\leq	V_u	\leq	$\phi(V_c + V_{s_{\max}})$
149530,5 N	$<$	159420,74 N	$<$	326017,13 N

(OK)

5. Kondisi 5 → memerlukan tulangan geser

$\phi(V_c + V_{s_{\max}})$	\leq	V_u	\leq	$\phi(V_c + 2V_{s_{\max}})$
326017,13 N	$>$	159420,74 N	$<$	541922,52 N

(TIDAK OK)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 4, yaitu memerlukan tulangan geser. Sehingga, beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_{s_{\text{perlu}}} = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_{s_{\text{perlu}}} = \frac{159420,74 \text{ N}}{0,75} - 146815,66 \text{ N}$$

$$V_{s_{\text{perlu}}} = 65745,32 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_{v_{\text{pakai}}} = \frac{1}{4} \pi (d^2) n_{\text{kaki}}$$

$$A_{v_{\text{pakai}}} = \frac{1}{4} \pi (12 \text{ mm})^2 2$$

$$A_{v_{\text{pakai}}} = 226,2 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$S_{\text{pakai}} = \frac{A_{v_1} (fy) d}{V_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S_{\text{pakai}} = \frac{226,2 \text{ mm}^2 (400 \text{ mm}) 450,5 \text{ mm}}{65745,32 \text{ N}}$$

$$S_{pakai} = 620 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = d/4$$

$$= 450,5 \text{ mm}/4$$

$$= 112,625 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Maka, digunakan spasi tulangan 85 mm. Sehingga luas penampangan tulangan geser:

$$Av_{perlu} = \frac{Vs_{perlu}(S_{pakai})}{f_{yv}(d)}$$

$$Av_{perlu} = \frac{159420,74 \text{ N}(80 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}(450,5 \text{ mm})}$$

$$Av_{perlu} = 48,646 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup. Apabila diketahui besar pengaruh momen puntir:

$$\frac{At}{s} = 0,298$$

Maka nilai At adalah:

$$At = \left(\frac{At}{s}\right) S_{pakai}$$

$$At = (1,03)(80 \text{ mm})$$

$$At = 82,5 \text{ mm}$$

Sehingga, luas gabungan:

$$Av_{perlu} + 2(At) = 48,646 \text{ mm}^2 + 2(82,5 \text{ mm})$$

$$Av_{perlu} + 2(At) = 213,7 \text{ mm}^2$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$Av + 2(At) = 0,062\sqrt{f'_c} \frac{b(S_{pakai})}{f_{yv}}$$

$$Av + 2(At) = 0,062\sqrt{30 \text{ Mpa}} \frac{350 \text{ mm}(80 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}}$$

$$Av + 2(At) = 39,62 \text{ mm}^2$$

$$Av + 2(At) = 0,35 \frac{b(S_{pakai})}{f_{yv}}$$

$$Av + 2(At) = 0,35 \frac{350 \text{ mm}(80 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}}$$

$$Av + 2(At) = 40,83 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan nilai Av_{perlu} menggunakan:

$$Av_{\text{perlu}} + 2(At) = 213,7 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$Av_{\text{pakai}} > Av_{\text{perlu}} = 226,2 \text{ mm}^2 > 213,7 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{\text{pakai}} < d/4$
 $80 \text{ mm} < 450,5 \text{ mm}/4$
 $80 \text{ mm} < 112,625 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- b. $S_{\text{pakai}} < 8 (D_{\text{lentur}})$
 $80 \text{ mm} < 8(19 \text{ mm})$
 $80 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- c. $S_{\text{pakai}} < 24(D_{\text{geser}})$
 $80 \text{ mm} < 24(12 \text{ mm})$
 $80 \text{ mm} < 288 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- d. $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $80 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

Jadi digunakan tulangan geser (sengkang) **Ø12-80 mm** pada daerah tumpuan kanan dan kiri

dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu_2}{0,5ln - 2h} = \frac{Vu_1}{0,5ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1(0,5ln - 2h)}{0,5ln}$$

$$Vu_2 = \frac{149097,04(0,5(4600) - (2)500)}{0,5(4600)}$$

$$Vu_2 = 90107,375 \text{ N}$$

Cek kondisi

$$Vu_2 = 90107,375 \text{ N}$$

1. Kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser

Vu	\leq	$\frac{1}{2}(\phi)Vc$
90107,375 N	$>$	55055,87 N

(TIDAK OK)

2. Kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum

$\frac{1}{2}(\phi)Vc$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc)$
55055,87 N	$<$	90107,375 N	$<$	110111,7 N

(OK)

3. Kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum

$\phi(Vc)$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc + Vs_{min})$
110111,7 N	$>$	90107,375 N	$<$	149530,5 N

(TIDAK OK)

4. Kondisi 4 → memerlukan tulangan geser

$\phi(Vc + Vs_{min})$	\leq	Vu	\leq	$\phi(Vc + Vs_{max})$
149530,5 N	$>$	90107,375 N	$<$	326017,13 N

(TIDAK OK)

5. Kondisi 5 → memerlukan tulangan geser

$\phi(V_c + V_{s_{\max}})$	\leq	V_u	\leq	$\phi(V_c + 2V_{s_{\max}})$
326017,13 N	$>$	90107,375 N	$<$	541922,52 N

(TIDAK OK)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 2, yaitu memerlukan tulangan geser. Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\max} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = d/2$$

$$= 450,5 \text{ mm}/2$$

$$= 225,25 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Kontrol:

$$S_{\text{pakai}} < S_{\max}$$

$$150 \text{ mm} < 225,25 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

Maka, digunakan spasi tulangan **150 mm**. Sehingga luas penampang tulangan geser:

$$A_{v_{\min}} = \frac{b_w(S_{\text{pakai}})}{f_{yv}(3)}$$

$$A_{v_{\min}} = \frac{350 \text{ mm}(150 \text{ mm})}{240 \text{ Mpa}(3)}$$

$$A_{v_{\min}} = 72,92 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki. Maka, luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = 0,25\pi(d)^2(n_{\text{kaki}})$$

$$A_v = 0,25\pi(12)^2(2)$$

$$A_v = 226,2 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$A_v > A_{v_{\min}} = 226,2 \text{ mm}^2 > 72,92 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke

arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{\text{pakai}} < d/4$
 $150 \text{ mm} < 450,5 \text{ mm}/2$
 $150 \text{ mm} < 225,25 \text{ mm}$ (OK)
- b. $S_{\text{pakai}} < 8(D_{\text{lentur}})$
 $150 \text{ mm} < 8(19 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 152 \text{ mm}$ (OK)
- c. $S_{\text{pakai}} < 24(D_{\text{geser}})$
 $150 \text{ mm} < 24(12 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 288 \text{ mm}$ (OK)
- d. $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

Jadi digunakan tulangan geser (sengkang) **Ø12-150 mm** pada daerah tumpuan kanan dan kiri dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

Perhitungan Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D25 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3, dan 12.5.

1. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

$$ld = \left(\frac{F_y \cdot \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

Dimana,

Ψ_t = Faktor lokasi tulangan, 1

Ψ_e = Faktor pelapis tulangan, 1

λ = Beton normal, 1

Maka,

$$l_d = \left(\frac{400 \text{ Mpa}(1)1}{1,7(1)\sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) 19 \text{ mm}$$

$$l_d = 816,214 \text{ mm}$$

Syarat:

$$L_d > 300 \text{ mm}$$

$$816,214 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\mathbf{OK})$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d\text{reduksi}} = \frac{As_{perlu}}{As_{pasang}} l_d$$

$$l_{d\text{reduksi}} = \frac{683,57 \text{ mm}^2}{850,59 \text{ mm}^2} 816,214 \text{ mm}$$

$$l_{d\text{reduksi}} = 655,95 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}$$

2. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \frac{0,24F_y}{\lambda\sqrt{f_c'}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24(400 \text{ Mpa})}{1\sqrt{30 \text{ Mpa}}} 19$$

$$l_{dc} = 333,02 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043(F_y)d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 (400 \text{ Mpa}) 19 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 326,8 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $L_{dc} = 333,02 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d\text{reduksi}} = \frac{As_{perlu}}{As_{pasang}} l_{dc}$$

$$l_{d\text{reduksi}} = \frac{255,18 \text{ mm}^2}{850,59 \text{ mm}^2} 333,02 \text{ mm}$$

$$l_{d\text{reduksi}} = 99,905 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

3. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$ld = \left(\frac{0,24(fy)\Psi_e}{\lambda\sqrt{fc'}} \right) d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$ld = \left(\frac{0,24(400 \text{ Mpa})1}{1\sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) 19$$

$$\geq 8(19 \text{ mm}) \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$ld = 333,02 \text{ mm} \geq 152 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$ld = 333,02 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.5.2 Desain Struktur Kolom

Berikut ini akan dibahas mengenai perhitungan penulangan kolom jenis K1 (400x400) mm pada lantai 1 berdasarkan beban aksial ultimate terbesar (Pu). Perhitungan berikut berdasarkan data perencanaan dan hasil analisis program SAP 2000. Ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan menggunakan metode SRPMM.

- Data Perencanaan

Tipe kolom	: K1
Tinggi kolom atas	: 3570 mm
Tinggi kolom bawah	: 3300 mm
B kolom	: 400 mm
H kolom	: 400 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Modulus elastisitas beton (E_c)	: 25742,96 MPa
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200000 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur (D)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset)	: 10 mm
Tebal selimut decking	: 40 mm
Jarak spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm
Faktor β_1	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,9

Faktor reduksi kekuatan geser : 0,75
 Faktor reduksi kekuatan torsi : 0,75

- **Perhitungan Lebar Efektif Kolom**

Lebar efektif kolom

$$\begin{aligned} d &= b - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} D_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (\frac{1}{2}) 19 \text{ mm} \\ &= 340,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= t_{\text{decking}} + \emptyset_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} D_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2}) 19 \text{ mm} \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= b - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} D_{\text{tulangan lentur}} - \frac{1}{2} b \\ &= (400 - 40 - 10 + (\frac{1}{2}) 19 - (\frac{1}{2}) 400) \text{ mm} \\ &= 159,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 400 \text{ mm} (400 \text{ mm}) \\ &= 160000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- **Hasil Output SAP**

Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 447 didapatkan diagram analisa sebagai berikut:

Gaya aksial (P) akibat kombinasi pembebanan

Kombinasi : **1,4D**

Nilai aksial : 1319189,72 N



Kombinasi : **1,2D + 1,6L + 0,5Lr**

Nilai aksial : 1669292,93 N



Kombinasi : **1,2D + 1Ex + 0,3Ey + 1L**

Nilai aksial : 1254759,43 N



Kombinasi : **1,2D + 1Ey + 0,3Ex + 1L**
 Nilai aksial : 1265728,19 N



Momen akibat pengaruh beban gravitasi

Momen arah sumbu X (M3)

Kombinasi : **1D + 1L**
 Nilai M_{1ns} : 4819567,07 Nmm



Kombinasi : **1D + 1L**
 Nilai M_{2ns} : 6619683,42 Nmm

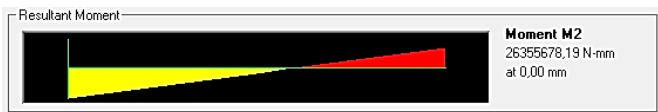


Momen arah sumbu Y (M2)

Kombinasi : **1D + 1L**
 Nilai M_{1ns} : 17917081,2 Nmm



Kombinasi : **1D + 1L**
 Nilai M_{2ns} : 26355678,19 Nmm



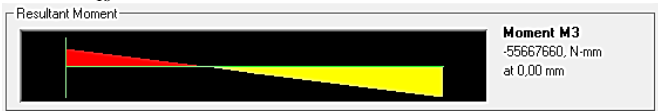
Keterangan:
 M_{1ns} = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.
 M_{2ns} = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.

Momen akibat pengaruh gaya gempa

Momen arah sumbu X

Kombinasi : **1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L**

Nilai M_{1s} : 55667660 Nmm



Kombinasi : **1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L**

Nilai M_{2s} : 93078385,36 Nmm



Momen arah sumbu Y

Kombinasi : **1D + 1Ey + 0,3Ex + 1L**

Nilai M_{1s} : 31742040 Nmm



Kombinasi : **1D + 1Ey + 0,3Ex + 1L**

Nilai M_{2s} : 40172354,52 Nmm



Keterangan :

M_{1s} = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam satuan Nmm.

M_{2s} = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam satuan Nmm.

- **Syarat Gaya Aksial Pada Kolom**

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh melebihi dari persamaan $A_g f_c / 10$, apabila P_u lebih besar maka perhitungan menggunakan SRPMM.

$$\frac{A_g (f_c')}{10} < P_u$$

$$\frac{(160000 \text{ mm}^2) 30 \text{ Mpa}}{10} < 1254759,43 \text{ N}$$

$$480000 \text{ N} < 1254759,43 \text{ N}$$

- **Perhitungan Tulangan Lentur**

Menghitung kontrol kelangsingan kolom

$$\beta d = \frac{P_u (\text{akibat beban gravitasi})}{P_u (\text{akibat beban gempa})}$$

$$\beta d = \frac{1669292,93 \text{ N}}{1254759,43 \text{ N}}$$

$$\beta d = 1,33$$

Keterangan:

βd = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

EI kolom (40/40)

$$I_g = 0,7 \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_g = 0,7 \frac{1}{12} (400 \text{ mm})(400 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 1493333333 \text{ mm}^4$$

Diketahui modulus elastisitas beton (E_c) = 25742,96 Nmm

$$EI_k = \frac{0,4(E_c)I_g}{1 + \beta d}$$

$$EI_k = \frac{0,4(25742,96 \text{ Nmm})1493333333 \text{ mm}^4}{1 + 1,33}$$

$$EI_k = 6598581104107,09 \text{ Nmm}^2$$

EI balok induk memanjang (30/40)

$$I_g = 0,35 \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_g = 0,35 \frac{1}{12} (300 \text{ mm})(400 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 560000000 \text{ mm}^4$$

Diketahui modulus elastisitas beton (E_c) = 25742,96 Nmm

$$EI_b = \frac{0,4(E_c)I_g}{1 + \beta d}$$

$$EI_b = \frac{0,4(25742,96 \text{ Nmm})560000000 \text{ mm}^4}{1 + 1,33}$$

$$EI_b = 2474467914040,16 \text{ Nmm}^2$$

EI balok induk melintang (25/35)

$$I_g = 0,35 \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_g = 0,35 \frac{1}{12} (250 \text{ mm})(350 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 312630208 \text{ mm}^4$$

Diketahui modulus elastisitas beton (E_c) = 25742,96 Nmm

$$EI_b = \frac{0,4(E_c)I_g}{1 + \beta d}$$

$$EIb = \frac{0,4(25742,96 \text{ Nmm})312630208 \text{ mm}^4}{1 + 1,33}$$

$$EIb = 1381416820500,93 \text{ Nmm}^2$$

EI balok induk melintang (30/50)

$$Ig = 0,35 \frac{1}{12} b h^3$$

$$Ig = 0,35 \frac{1}{12} (300 \text{ mm})(500 \text{ mm})^3$$

$$Ig = 1093750000 \text{ mm}^4$$

Apabila modulus elastisitas beton (E_c) = 25742,96 Nmm.

$$EIb = \frac{0,4(E_c)Ig}{1 + \beta d}$$

$$EIb = \frac{0,4(25742,96 \text{ Nmm})1093750000 \text{ mm}^4}{1 + 1,33}$$

$$EIb = 4832945144609,68 \text{ Nmm}^2$$

EI balok sloof memanjang & melintang (35/50)

$$Ig = 0,35 \frac{1}{12} b h^3$$

$$Ig = 0,35 \frac{1}{12} (350 \text{ mm})(500 \text{ mm})^3$$

$$Ig = 1276041667 \text{ mm}^4$$

Apabila modulus elastisitas beton (E_c) = 25742,96 Nmm.

$$EIs = \frac{0,4(E_c)Ig}{1 + \beta d}$$

$$EIs = \frac{0,4(25742,96 \text{ Nmm})(1276041667 \text{ mm}^4)}{1 + 1,33}$$

$$EIs = 2474467914040,16 \text{ Nmm}^2$$

Selanjutnya, menghitung faktor panjang tekuk kolom (k) dengan persamaan sebagai berikut:

Kekakuan kolom atas

$$\psi_a = \frac{\Sigma (EI/L)_{kolom atas}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B2} + (EI/L)_{B3} + (EI/L)_{B4}}$$

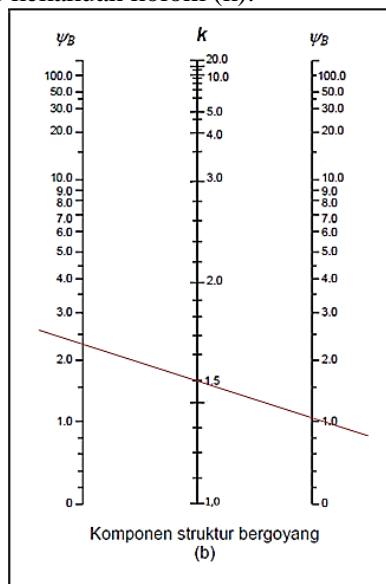
$$\psi_a = 2,3$$

Kekakuan kolom bawah

$$\psi_b = \frac{\Sigma (EI/L)_{kolom bawah}}{(EI/L)_{s1} + (EI/L)_{s2} + (EI/L)_{s3} + (EI/L)_{s4}}$$

$$\psi_b = 1,01$$

Selanjutnya digunakan nomogram untuk menentukan nilai faktor kekakuan kolom (k).



Dari nomogram diatas didapatkan nilai $k = 1,5$

Menghitung jari-jari inersia (r)

$$r = 0,2887h$$

$$r = 0,2887(400 \text{ mm})$$

$$r = 115,48 \text{ mm}$$

Kontrol kelangsingan

$$\lambda = \frac{k(L_u)}{r} \leq 22 \text{ (pengaruh langsing diabaikan)}$$

$$\lambda = \frac{1,5(3300 \text{ mm})}{115,48 \text{ mm}} \leq 22$$

$$42,9 > 22$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 10.10 maka kolom termasuk kolom langsing.

Peninjauan kolom akibat momen arah X (M33)

Berdasarkan output analisis menggunakan program SAP 2000, diperoleh hasil gaya dalam arah X sebagai berikut:

Akibat kombinasi beban gempa (**1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L**)

$$M_{1s} = 55667660 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 93078385,36 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi (**1D + 1L**)

$$M_{1ns} = 4819567,07 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 6619683,42 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai Pc (kritis) pada kolom

$$Pc = \frac{\pi^2 EI}{(k L_u)^2}$$

$$Pc = \frac{\pi^2 (6598581104107,09 \text{ Nmm}^2)}{(1,5)^2 (3300 \text{ mm})^2}$$

$$Pc = 2657908 \text{ N}$$

$$\Sigma Pc = n(Pc)$$

$$\Sigma Pc = 21(2657908 \text{ N})$$

$$\Sigma Pc = 55816063 \text{ N}$$

$$\text{Diketahui nilai } P_u = 1697223,64 \text{ N}$$

$$\Sigma Pu = n(Pu)$$

$$\Sigma Pu = 21(1254759,43 \text{ N})$$

$$\Sigma Pu = 26349948 \text{ N}$$

Menghitung pembesaran momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma Pu}{(0,75)\Sigma Pc}} \geq 1$$

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{26349948 N}{(0,75)55816063 N}} \geq 1$$

$$\delta s = 2,7 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta s = 2,7$ yang digunakan dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen kolom arah X (M33)

Berdasarkan output analisis menggunakan program SAP 2000, diperoleh hasil gaya dalam arah X sebagai berikut:

$$M_1 = M_{1ns} + (\delta_s)M_{1s}$$

$$M_1 = 4819567,07 \text{ Nmm} + (2,7) 55667660 \text{ Nmm}$$

$$M_1 = 155048247,91 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = M_{2ns} + (\delta_s)M_{2s}$$

$$M_2 = 6619683,42 \text{ Nmm} + (2,7) 93078385,36 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = 257807591,22 \text{ Nmm}$$

Dari 2 perhitungan pembesaran momen diatas, digunakan nilai terbesar (M_u) = 257807591,22 Nmm.

Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan diagram interaksi berdasarkan buku “Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang”. Perhitungan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\frac{d'}{h} = \frac{59,5}{400} = 0,149$$

Sumbu vertikal

$$v = \frac{Pu}{\phi(b)h(0,85)f'_c}$$

$$v = \frac{1254759,43 N}{0,65(400 \text{ mm})400 \text{ mm}(0,85)30 \text{ Mpa}}$$

$$v = 0,47$$

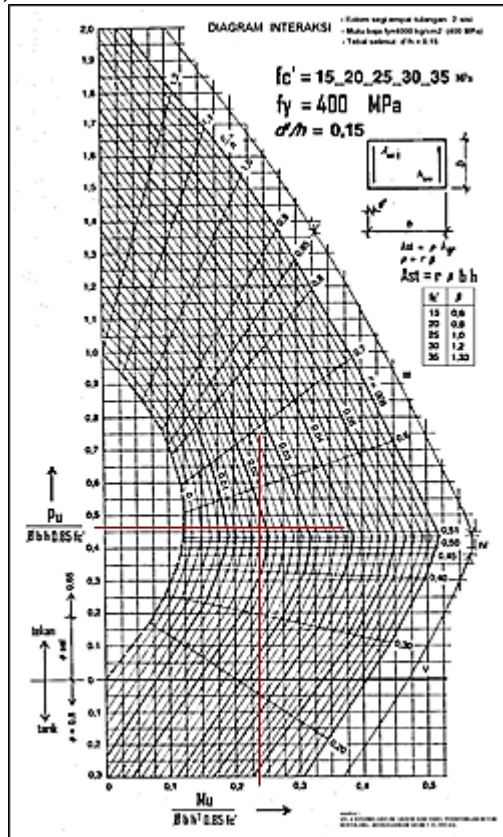
$$v = 0,47$$

Sumbu horizontal

$$h = \frac{Mu}{\phi(b)h^2(0,85)f_c'}$$

$$h = \frac{257807591,22 \text{ Nmm}}{0,65(400 \text{ mm})(400 \text{ mm})^2(0,85)30 \text{ Mpa}}$$

$$h = 0,24$$



Maka, didapatkan nilai ρ_{perlu} sebesar 0,016
 Selanjutnya menghitung luas tulangan lentur yang dibutuhkan

$$A_{s_{perlu}} = \rho_{perlu}(b)h$$

$$= 0,016 (400 \text{ mm}) 400 \text{ mm}$$

$$= 2560 \text{ mm}^2$$

Dipakai diameter tulangan lentur D-19, maka luas tulangan:

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan} &= \frac{1}{4} (\pi) d^2 \\ &= \frac{1}{4} (\pi) (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{\text{Luas tulangan D19}} \\ n &= \frac{2560 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2}\end{aligned}$$

$$n = 9,03 = 12 \text{ buah}$$

Jadi dipasang tulangan lentur D-19 sebanyak 12 buah

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}A_{s_{\text{pasang}}} &= n \left(\frac{1}{4}\right) \pi (d^2) \\ &= 12 \text{ buah} \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 3402,345 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 3402,345 \text{ mm}^2 > 2560 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Persentase tulangan terpasang:

$$1\% < \text{persentase} = \frac{A_{s_{\text{pasang}}}}{(b)(h)} \times 100\%$$

$$1\% < \text{persentase} = \frac{3402,345 \text{ mm}^2}{400 \text{ mm} (400 \text{ mm})} (100\%)$$

$$1\% < \text{persentase} = 2,13\% < 8\% \quad (\text{OK})$$

Mencari nilai e_{\min} dan e_{perlu}

$$\begin{aligned}P_n &= \frac{P_u}{0,65} \\ P_n &= \frac{1254759,43 \text{ N}}{0,65}\end{aligned}$$

$$P_n = 1930399 \text{ N}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,65}$$

$$M_n = \frac{257807591,22 \text{ Nmm}}{0,65}$$

$$M_n = 396627063,41 \text{ Nmm}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{M_n}{P_n}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{396627063,41 \text{ Nmm}}{1930399 \text{ N}}$$

$$e \text{ perlu} = 205,46 \text{ mm}$$

$$e \text{ min} = 15,24 + 0,03h$$

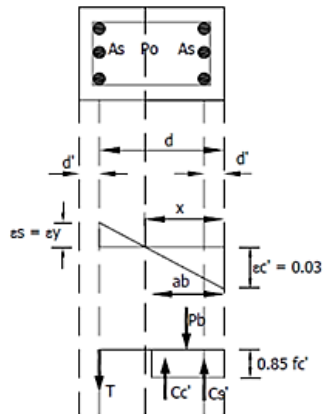
$$e \text{ min} = 15,24 + (0,03) 400 \text{ mm}$$

$$e \text{ min} = 27,24 \text{ mm}$$

Cek kondisi balance

Syarat:

$$\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$$



$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$X_b = \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} (340,5 \text{ mm})$$

$$X_b = 204,3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_b &= \beta_1 (X_b) \\ &= 0,85 (204,3 \text{ mm}) \\ &= 173,655 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - (0,85)f_c') \\ &= 3402,345 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - (0,85) 30 \text{ Mpa}) \\ &= 1274178,144 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 (f_c') b (\beta_1) X_b \\ &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 400 \text{ mm} (0,85) 204,3 \text{ mm} \\ &= 1771281 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s (f_y) \\ &= 3402,345 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa}) \\ &= 1360937,938 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V = 0 &\rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T \\ P_b &= 1771281 \text{ N} + 1274178,144 \text{ N} - 1360937,938 \text{ N} \\ P_b &= 1684521,206 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_b &= C_c' (d - d'' - \frac{1}{2} A_b) + C_s' (d - d'' - d') + (T d'') \\ M_b &= 1771281 \text{ N} (340,5 \text{ mm} - 159,5 \text{ mm} - \frac{1}{2} 173,655 \text{ mm}) \\ &+ 1274178,144 \text{ N} (340,5 \text{ mm} - 159,5 \text{ mm} - 59,5 \text{ mm}) \\ &+ (1360937,938 \text{ N}) (159,5 \text{ mm}) \\ M_b &= 538688205,51 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_b &= M_b / P_b \\ E_b &= 538688205,51 \text{ Nmm} / 1684521,206 \text{ N} \\ E_b &= 319,79 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol kondisi:

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}} \text{ (tekan menentukan)}$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}} \text{ (tarik menentukan)}$$

Maka,

$$27,24 \text{ mm} < 205,46 \text{ mm} < 319,79 \text{ mm} \text{ (kondisi tekan menentukan)}$$

Kontrol Kondisi Tekan Menentukan

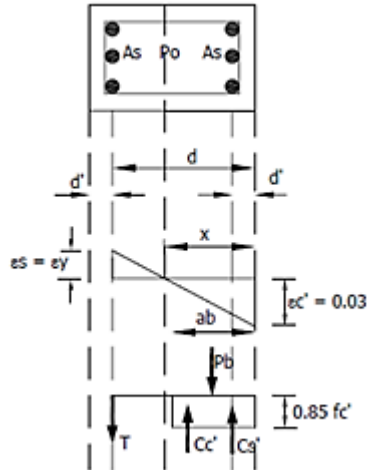
Syarat:

$$e < e_b = 27,24 \text{ mm} < 319,79 \text{ mm}$$

(OK)

$$P > P_b$$

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow f_s < f_y$$

Mencari nilai x

$$a = 0,54d$$

$$0,85x = 0,54 \text{ (340,5 mm)}$$

$$x = 216,32 \text{ mm}$$

Mencari nilai a

$$a = 0,85x$$

$$a = 0,85 \text{ (216,32 mm)}$$

$$a = 183,87 \text{ mm}$$

Syarat:

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow f_s < f_y$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) 0,003$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{340,5 \text{ mm}}{216,32 \text{ mm}} - 1 \right) 0,003$$

$$\varepsilon_s = 0,0017$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) 600$$

$$f_s = \left(\frac{340,5 \text{ mm}}{215,4 \text{ mm}} - 1 \right) 600$$

$$f_s = 344,4 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\varepsilon_y = \frac{400 \text{ Mpa}}{200000 \text{ Mpa}}$$

$$\varepsilon_y = 0,002$$

Kontrol:

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y = 0,0017 < 0,002 \quad \textbf{(OK)}$$

$$f_s < f_y = 344,4 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \quad \textbf{(OK)}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 3402,345 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - (0,85) 30 \text{ Mpa}) \\ &= 1274178,144 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85(f_c') b (\beta_1) x \\ &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 400 \text{ mm} (0,85) 216,32 \text{ mm} \\ &= 1875474 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 3402,345 \text{ mm}^2 (1360937,938 \text{ N}) \\ &= 1360937,938 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V &= 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T \\ P &= 1875474 \text{ N} + 1274178,144 \text{ N} - 1360937,938 \text{ N} \\ P &= 1788714,206 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} P &> P_b \\ 1788714,206 \text{ N} &> 1684521,206 \text{ N} \quad \textbf{(OK)} \end{aligned}$$

$$M_{n_{\text{pasang}}} = C_c'(d - d'' - \frac{1}{2} A_b) + C_s'(d - d'' - d') + T d''$$

$$Mn_{pasang} = 1875474 \text{ N (340,5 mm - 159,5 mm - } \frac{1}{2} 183,87 \text{ mm)} + 1274178,144 \text{ N (340,5 mm - 159,5 mm - 59,5 mm)} + 1360937,9 \text{ N (159,5 mm)}$$

$$Mn_{pasang} = 538921337,34 \text{ Nmm}$$

Syarat:

$$Mn_{pasang} > Mn$$

$$538921337,34 \text{ Nmm} > 257807591,22 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Peninjauan kolom akibat momen arah X (M33)

Berdasarkan output analisis menggunakan program SAP 2000, diperoleh hasil gaya dalam arah X sebagai berikut:

Akibat kombinasi beban gempa (**1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L**)

$$M_{1s} = 31742040 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 40172354,52 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi (**1D + 1L**)

$$M_{1ns} = 17917081,2 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 26355678,19 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai Pc (kritis) pada kolom

$$Pc = \frac{\pi^2 EI}{(k L_u)^2}$$

$$Pc = \frac{\pi^2 (6598581104107,09 \text{ Nmm}^2)}{(1,5)^2 (3300 \text{ mm})^2}$$

$$Pc = 2657908 \text{ N}$$

$$\Sigma Pc = n(Pc)$$

$$\Sigma Pc = 21(2657908 \text{ N})$$

$$\Sigma Pc = 55816063 \text{ N}$$

$$\text{Diketahui nilai } Pu = 1254759,43 \text{ N}$$

$$\Sigma Pu = n(Pu)$$

$$\Sigma Pu = 21(1254759,43 \text{ N})$$

$$\Sigma Pu = 26349948 \text{ N}$$

Menghitung pembesaran momen (δ_s)

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma Pu}{(0,75)\Sigma Pc}} \geq 1$$

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{26349948 N}{(0,75)55816063 N}} \geq 1$$

$$\delta s = 2,7 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta s = 2,7$ yang digunakan dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen kolom arah Y (M22)

Berdasarkan output analisis menggunakan program SAP 2000, diperoleh hasil gaya dalam arah X sebagai berikut:

$$M_1 = M_{1ns} + (\delta_s)M_{1s}$$

$$M_1 = 17917081,2 \text{ Nmm} + (2,7) 31742040 \text{ Nmm}$$

$$M_1 = 103578393,29 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = M_{2ns} + (\delta_s)M_{2s}$$

$$M_2 = 26355678,19 \text{ Nmm} + (2,7) 40172354,52 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = 134767632,74 \text{ Nmm}$$

Dari 2 perhitungan pembesaran momen diatas, digunakan nilai terbesar (M_u) = 134767632,74 Nmm.

Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan diagram interaksi berdasarkan buku “Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang”. Perhitungan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\frac{d'}{h} = \frac{59,5}{400} = 0,149$$

Sumbu vertikal

$$v = \frac{Pu}{\phi(b)h(0,85)f'_c}$$

$$v = \frac{1254759,43 N}{0,65(400 \text{ mm})400 \text{ mm}(0,85)30 \text{ Mpa}}$$

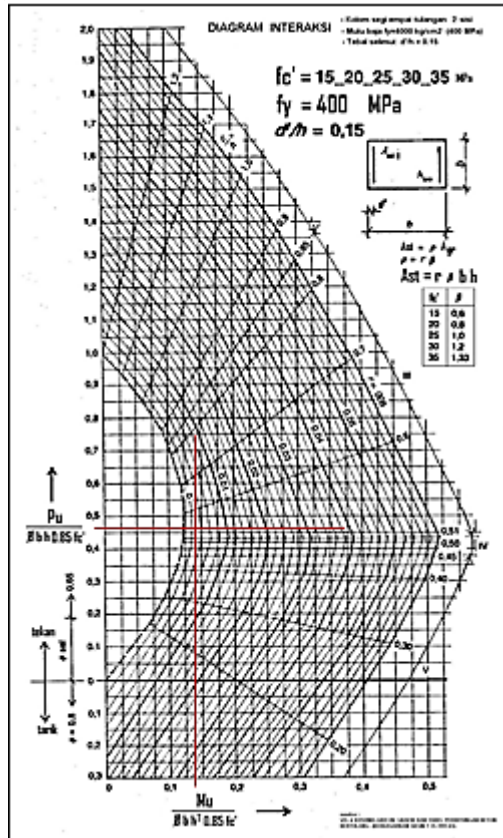
$$v = 0,47$$

Sumbu horizontal

$$h = \frac{Mu}{\phi(b)h^2(0,85)f'_c}$$

$$h = \frac{134821035,4 \text{ Nmm}}{0,65(400 \text{ mm})(400 \text{ mm})^2(0,85)30 \text{ Mpa}}$$

$$h = 0,13$$



Maka, didapatkan nilai ρ_{perlu} sebesar 0,0025

Selanjutnya menghitung luas tulangan lentur yang dibutuhkan

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}}(b)h$$

$$= 0,0025 (400 \text{ mm})^2$$

$$= 400 \text{ mm}^2$$

Dipakai diameter tulangan lentur D-19, maka luas tulangan:

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{1}{4} (\pi) d^2 \\ &= \frac{1}{4} (\pi) (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{\text{Luas tulangan D19}}$$

$$n = \frac{400 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,41 = 4 \text{ buah}$$

Jadi dipasang tulangan lentur D-19 sebanyak 4 buah

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \left(\frac{1}{4} \right) \pi (d^2) \\ &= 4 \text{ buah} \left(\frac{1}{4} \right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol tulangan:

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 1134,115 \text{ mm}^2 > 400 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Persentase tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} \text{persentase} &= \frac{A_{s_{\text{pasang}}}}{(b)(h)} \times 100\% \\ \text{persentase} &= \frac{1134,115 \text{ mm}^2}{400 \text{ mm} (400 \text{ mm})} (100\%) \\ \text{persentase} &= 0,71\% < 8\% \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Mencari nilai e_{min} dan e_{perlu}

$$P_n = \frac{P_u}{0,65}$$

$$P_n = \frac{1254759,43 \text{ N}}{0,65}$$

$$P_n = 1930399 \text{ N}$$

$$X_b = \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} (340,5 \text{ mm})$$

$$X_b = 204,3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_b &= \beta_1 (X_b) \\ &= 0,85 (204,3 \text{ mm}) \\ &= 173,655 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - (0,85)f_c') \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - (0,85) 30 \text{ Mpa}) \\ &= 414726.048 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 (f_c') b (\beta_1) X_b \\ &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 400 \text{ mm} (0,85) 204,3 \text{ mm} \\ &= 1771281 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s (f_y) \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa}) \\ &= 453645,98 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V = 0 &\rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T \\ P_b &= 177128 \text{ N} + 414726.048 \text{ N} - 453645,98 \text{ N} \\ P_b &= 1742361,069 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_b &= C_c' (d - d'' - \frac{1}{2} A_b) + C_s' (d - d'' - d') + (T d'') \\ M_b &= 177128 \text{ N} (340,5 \text{ mm} - 159,5 \text{ mm} - \frac{1}{2} 173,655 \text{ mm}) \\ &\quad + 414726.048 \text{ N} (340,5 \text{ mm} - 159,5 \text{ mm} - 59,5 \text{ mm}) \\ &\quad + (453645,98 \text{ N}) (159,5 \text{ mm}) \\ M_b &= 218410174,81 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_b &= M_b / P_b \\ E_b &= 218410174,8 \text{ Nmm} / 1742361,069 \text{ N} \\ E_b &= 125,35 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol kondisi:

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}} \text{ (tekan menentukan)}$$

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ (tarik menentukan)

Maka,

$27,24 \text{ mm} < 107,41 \text{ mm} < 125,35 \text{ mm}$ (**kondisi tekan menentukan**)

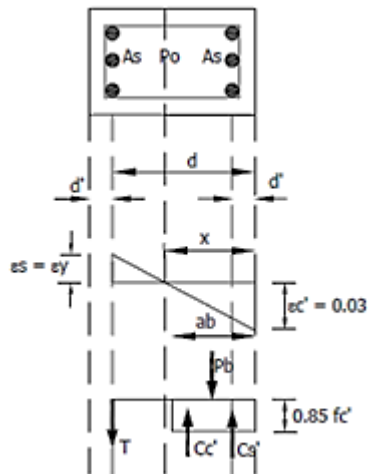
Kontrol Kondisi Tekan Menentukan

Syarat:

$e < e_b = 27,24 \text{ mm} < 125,35 \text{ mm}$ (OK)

$P > P_b$

$\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow f_s < f_y$



Mencari nilai x

$$a = 0,54d$$

$$0,85x = 0,54 (340,5 \text{ mm})$$

$$x = 216,32 \text{ mm}$$

Mencari nilai a

$$a = 0,85x$$

$$a = 0,85 (216,32 \text{ mm})$$

$$a = 183,87 \text{ mm}$$

Syarat:

$\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow f_s < f_y$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) 0,003$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{340,5 \text{ mm}}{216,32 \text{ mm}} - 1 \right) 0,003$$

$$\varepsilon_s = 0,0017$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) 600$$

$$f_s = \left(\frac{340,5 \text{ mm}}{215,4 \text{ mm}} - 1 \right) 600$$

$$f_s = 344,4 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\varepsilon_y = \frac{400 \text{ Mpa}}{200000 \text{ Mpa}}$$

$$\varepsilon_y = 0,002$$

Kontrol:

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y = 0,0017 < 0,002 \quad (\text{OK})$$

$$f_s < f_y = 344,4 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

$$\begin{aligned} C_{s'} &= A_{s'} \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_{c'}) \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - (0,85) 30 \text{ Mpa}) \\ &= 424726,048 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{c'} &= 0,85(f_{c'}) b (\beta_1) x \\ &= 0,85 (30 \text{ Mpa}) 400 \text{ mm} (0,85) 216,32 \text{ mm} \\ &= 1875474 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 (1360937,938 \text{ N}) \\ &= 453645,98 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V &= 0 \rightarrow P = C_{c'} + C_{s'} - T \\ P &= 1875474 \text{ N} + 424726,048 \text{ N} - 453645,98 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P = 1846554,069 \text{ N}$$

Syarat:

$$P > P_b$$

$$1846554,069 \text{ N} > 1742361,069 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

$$Mn_{\text{pasang}} = Cc'(d - d'' - \frac{1}{2} Ab) + Cs'(d - d'' - d') + Td''$$

$$Mn_{\text{pasang}} = 1875474 \text{ N} (340,5 \text{ mm} - 159,5 \text{ mm} - \frac{1}{2} 183,87 \text{ mm}) + 424726,048 \text{ N} (340,5 \text{ mm} - 159,5 \text{ mm} - 59,5 \text{ mm}) + 453645,98 \text{ N} (159,5 \text{ mm})$$

$$Mn_{\text{pasang}} = 218643306,64 \text{ Nmm}$$

Syarat:

$$Mn_{\text{pasang}} > Mn$$

$$218643306,64 \text{ Nmm} > 134767632,74 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Berdasarkan peninjauan momen kolom arah X dan Y, maka digunakan penulangan lentur terbesar sesuai dengan peninjauan momen kolom arah X yaitu **12D-19**

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2t_{\text{selimut}}) - (2D_{\text{geser}}) - (nD_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{(400 - 2(40) - 2(1) - 6(19)) \text{ mm}}{6 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 37,2 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

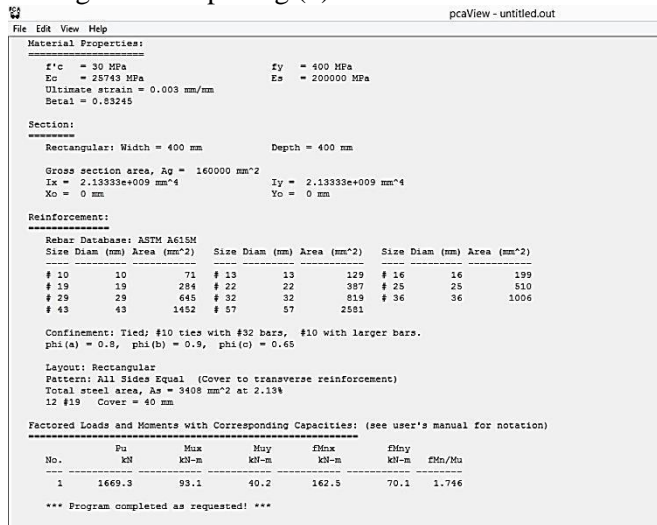
Maka tulangan lentur kolom (40/40) disusun 1 lapis.

- **Cek Dengan Program PCA-Column**

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis PcaColumn

Mutu beton (f_c')	: 30 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	: 400 MPa
Modulus elastisitas	: 200000 MPa
β_1	: 0,85
B kolom	: 400 mm
H kolom	: 400 mm
Mu_x (M33 kombinasi arah X)	: 93078385,4 Nmm
Mu_y (M22 kombinasi arah Y)	: 40172354,5 Nmm

Pu (kombinasi ultimate) : 1254759,43 N
 Diameter tulangan (D) : 19 mm
 Tulangan kolom pasang (n) : 12 buah



Berdasarkan output dari PcaColumn

Mux = 93,1 kNm < Mnx = 162,5 kNm (OK)

Muy = 40,2 kNm < Mny = 70,1 kNm (OK)

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom **D-19** sebanyak **12** buah.

Persentase tulangan terpasang

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pasang}}} &= n \left(\frac{1}{4}\right) \pi (d^2) \\
 &= 12 \left(\frac{1}{4}\right) \pi (19 \text{ mm})^2 \\
 &= 3402,345 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan

$$\text{persentase} = \frac{A_{s_{\text{pasang}}}}{b(h)} \times 100$$

$$\text{persentase} = \frac{3402,345 \text{ mm}^2}{400 \text{ mm} (400 \text{ mm})} (100\%)$$

$$\text{persentase} = 2,13\% < 8\% \quad (\text{OK})$$

Kesimpulan:

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh program analisis PcaColumn lebih besar dibandingkan momen ultimate perhitungan SAP 2000, maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

- **Perhitungan Tulangan Geser**

Data perencanaan

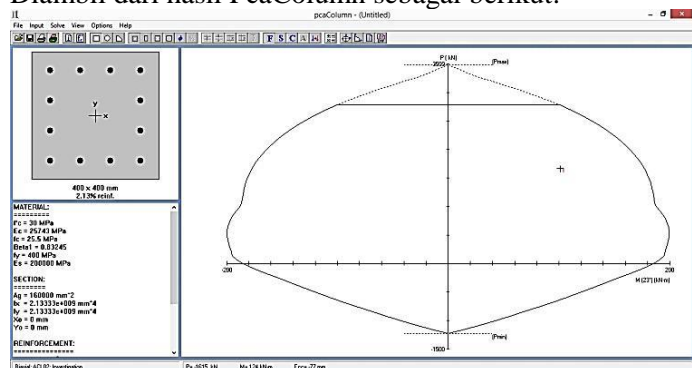
h kolom	: 400 mm
b kolom	: 400 mm
Tebal selimut beton	: 40 mm
Tinggi kolom	: 3300 mm
Mutu beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur	: 19 mm
Diameter tulangan geser	: 10 mm
Faktor reduksi (ϕ)	: 0,75

Berdasarkan hasil analisis program SAP 2000, maka diperoleh beban aksial pada kolom K1 dengan kombinasi **1,2D + 1Ex + 0,3Ey + 1L** sebagai berikut:

$$P_u = 1254759,43 \text{ N}$$

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM

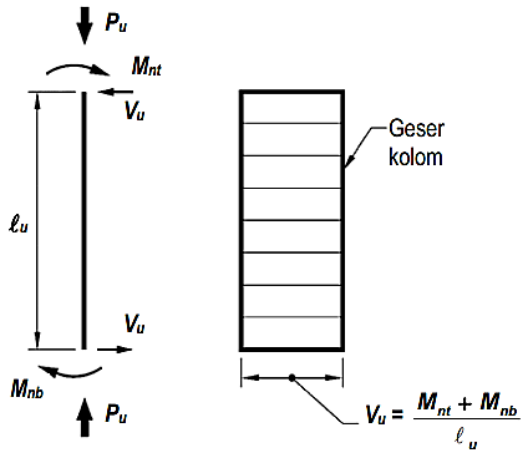
Diambil dari hasil PcaColumn sebagai berikut:



$$M_{nt} = 124000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = 124000000 \text{ Nmm}$$

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$



Dimana:

M_{nt} : Momen nominal atas kolom

M_{nb} : Momen nominal bawah kolom

$$M_{nt} = \frac{M_{nt}}{\phi}$$

$$M_{nt} = \frac{124000000 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$M_{nt} = 165333333 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = \frac{M_{nb}}{\phi}$$

$$M_{nb} = \frac{124000000 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$M_{nb} = 165333333 \text{ Nmm}$$

$$V_u = \frac{165333333 \text{ Nmm} + 165333333 \text{ nmm}}{3300 \text{ mm}}$$

$$V_u = 100202,02 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton

Nilai $\sqrt{f'c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa sesuai dengan peraturan SNI 03-2847-2013.

$$\sqrt{f'c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,48 \text{ Mpa} \leq 8,33 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Kekuatan geser pada beton:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{P_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{30} b_w d$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{1254759,43}{14(160000)} \right) 1(\sqrt{30})400(340,5)$$

$$V_c = 197859,052 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser:

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= 1/3(b)d \\ &= 1/3 (400 \text{ mm}) 340,5 \text{ mm} \\ &= 45400 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= (1/3) \sqrt{f'c'} (b) d \\ &= (1/3) \sqrt{30} (400 \text{ mm}) 340,5 \text{ mm} \\ &= 248666,0411 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s_{\max}} &= (2/3) \sqrt{f'c'} (b) d \\ &= (2/3) \sqrt{30} (400 \text{ mm}) 340,5 \text{ mm} \\ &= 497332,08 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq (1/2) \phi (V_c)$
 $100202,02 \text{ N} > 74197,02 \text{ N} \quad (\text{Tidak OK})$
2. Kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum
 $1/2 (\phi) V_c \leq V_u \leq (\phi) V_c$
 $74197,02 \text{ N} \leq 100202,02 \text{ N} > 148394,29 \text{ N} \quad (\text{OK})$
3. Kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum

$$\phi (V_c) \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\min}})$$

$$148394,29 \text{ N} \leq 100202,02 \text{ N} > 182444,29 \text{ N (OK)}$$

4. Kondisi 4 → memerlukan tulangan geser

$$\phi (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\max}})$$

$$182444,29 \text{ N} \leq 100202,02 \text{ N} > 334893,82 \text{ N (OK)}$$

5. Kondisi 5 → memerlukan tulangan geser

$$\phi (V_c + V_{s_{\max}}) < V_u < \phi (V_c + 2V_{s_{\max}})$$

$$334893,82 \text{ N} < 100202,02 \text{ N} < 521393,35 \text{ N (OK)}$$

Dari kelima persyaratan tersebut, maka diambil nilai $V_{s_{\min}} = 45400 \text{ N}$

Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

Pakai nilai $V_{s_{\min}} = 45400 \text{ N}$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan adalah:

$$A_v = \frac{1}{4} (\pi) d^2 (n_{kaki})$$

$$A_v = \frac{1}{4} \pi (10 \text{ mm})^2 (2)$$

$$A_v = 157,08 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$s = \frac{A_v (f_y) d}{V_s}$$

$$s = \frac{157,08 \text{ mm} (240 \text{ Mpa}) 340,5 \text{ mm}}{45400 \text{ N}}$$

$$s = 282,74 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\max} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = (340,5/2) \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

$$S = 170,25 \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan spasi tulangan sebesar 150 mm

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser kolom

1. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2 spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada

rentang Lo dari muka hubungan balok-kolom So . Spasi So tersebut tidak boleh melebihi:

- a) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi

$$So \leq 8 \times d_{\text{lentur}}$$

$$150 \text{ mm} \leq 8 \text{ (19 mm)}$$

$$150 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

- b) 24 kali diameter batang tulangan begel

$$So \leq 24 (D_{\text{geser}})$$

$$150 \text{ mm} \leq 24 \text{ (10 mm)}$$

$$150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

- c) Setengah dimensi penampang kolom terkecil

$$So \leq (\frac{1}{2}) b_w$$

$$150 \text{ mm} \leq (\frac{1}{2}) 400 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

- d) $So \leq 300 \text{ mm}$

$$150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, dan S_{pakai} menggunakan 150 mm. Maka dipakai So sebesar **Ø10-150 mm**.

Panjang Lo tidak boleh kurang dari yang terbesar diantara ketiga syarat dibawah, yaitu:

- a) Seperenam betang bersih kolom

$$Lo = 1/6 (3300 - 400)$$

$$Lo = 483 \text{ mm}$$

- b) Dimensi terbesar penampang kolom

$$Lo = 650 \text{ mm}$$

- c) $Lo > 450 \text{ mm}$

2. Senggang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 0,5 (So) = 0,5 (150 mm) = 75 mm dari muka hubungan balok-kolom.

3. Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi 2 (So) = 2 (150 mm) = 300 mm

Sehingga dipasang sengkang sebesar Ø10-150 mm sejarak 650 mm dari muka hubungan balok kolom.

Perhitungan sambungan lewatan tulangan vertikal kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,071 (f_y) d_b$, untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$ atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 (f_y) d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 (400) 25 \geq 300 \text{ mm}$$

$$710 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

Perhitungan panjang penyaluran tulangan kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan D19 harus ditentukan menggunakan persamaan:

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'c'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{Cb + K_{tr}}{d_b} \right)} \right)$$

Keterangan :

Ψ_t : Tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300 mm beton segar di bawah panjang penyaluran atau sambungan, $\Psi_t = 1,3$. Untuk situasi lainnya, $\Psi_t = 1,0$.

Ψ_e : Untuk batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$, $\Psi_e = 1,5$. Untuk semua batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi lainnya, $\Psi_e = 1,2$. Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (di galvanis), $\Psi_e = 1,0$. Akan tetapi, hasil $\Psi_t \Psi_e$ tidak perlu lebih besar dari 1,7

Ψ_s : Untuk batang tulangan atau kawat ulir D19 atau yang lebih kecil, $\Psi_s = 0,8$. Untuk batang tulangan D22 dan yang lebih besar, $\Psi_s = 1,0$.

λ : Bila beton ringan digunakan, λ tidak boleh melebihi **0,75** kecuali jika f_{ct} ditetapkan. Bila berat beton normal digunakan, $\lambda = 1,0$.

Maka,

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{fy}{1,1\lambda\sqrt{f'c}} \frac{\Psi_t\Psi_e\Psi_s}{\left(\frac{Cb + K_{tr}}{d_b}\right)} \right)$$

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{400 \text{ Mpa}}{1,1(1)\sqrt{30 \text{ Mpa}}} \frac{1(1)1}{\left(\frac{46 \text{ mm}}{25 \text{ mm}}\right)} \right)$$

$$\frac{ld}{db} = 39,7$$

$$ld = 39,7(19 \text{ mm})$$

$$ld = 754,11 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}$$

Tulangan vertikal

$$0,071 (f_y) D > 300 \text{ mm}$$

$$0,071 (400 \text{ Mpa}) 19 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

$$540 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

4.5.3 Desain Struktur Pondasi

Perhitungan menggunakan metode rumusan Luciano Decourt (1982). Berdasarkan nilai N-SPT tertinggi dan kategori tanah keras, berikut merupakan perhitungan daya dukung ijin borpile:

a. Data-Data Perencanaan

$$\text{Kedalaman} : 27,5 \text{ m}$$

$$\text{Diameter} : 0,45 \text{ m}$$

$$\text{P ijin bahan} : 134,9 \text{ Ton}$$

$$\text{Momen crack tiang} : 12,50 \text{ ton.m}$$

$$\text{Berat tiang pancang} : 232 \text{ kg/m}$$

$$\text{Luas tiang } (A_p) : \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$: 0,159 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas selimut tiang } (A_s) : \pi x d x \text{ panjang tiang}$$

$$: 38,88 \text{ m}^2$$

$$\text{Mutu beton tiang pancang} : 41,5 \text{ MPa}$$

Mutu beton (f_c')	: 30 MPa
Mutu baja (f_y)	: 400 MPa
Safety factor (SF)	: 3
K (koefisien karakteristik tanah),	
Tanah lempung	: 12 t/m ²
Lanau berlempung	: 20 t/m ²
Lanau berpasir	: 25 t/m ²
Pasir	: 40 t/m ²

Pile/Soil	Clay		Intermediate		Sand	
	α	β	A	β	α	β
Driven Pile	1	1	1	1	1	1
Bored Pile	0,85	0,8	0,6	0,65	0,5	0,5
Injection Pile	1	3	1	3	1	3

(Sumber: Decourt & Quaresma, 1978 & Decourt et al, 1996)

b. Perhitungan Daya Dukung Ijin

Kedalaman	Jenis tanah	N	N'	N _p	K (t/m ²)	Q _p (ton)	N _{s1}	N _s	Q _s (ton)	Q _L (ton)	Q _{all}
0	-	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0
2.5	Lempung Berlanau	14	14.5	10.67	12	12.21	14	12.33	129.16	141.37	47.12
5	Lempung Berlanau	20	17.5	16.17	12	18.51	20	17.33	171.28	189.79	63.26
7.5	Lempung Berlanau	18	16.5	17.17	12	19.66	18	19.33	188.12	207.78	69.26
10	Lempung Berlanau	20	17.5	16.67	12	19.09	20	18.33	179.70	198.78	66.26
12.5	Lempung Berlanau	17	16	16.50	12	18.89	17	18.00	176.89	195.79	65.26
15	Lempung Berlanau	17	16	16.33	12	18.70	17	17.67	174.08	192.79	64.26
17.5	Lempung Berlanau	19	17	16.83	12	19.28	19	18.67	182.51	201.78	67.26
20	Lempung Berlanau	20	17.5	17.83	12	20.42	20	20.67	199.35	219.77	73.26
22.5	Lempung Berlanau	23	19	19.67	12	22.52	23	24.33	230.24	252.76	84.25
25	Lempung Berlanau	30	22.5	21.50	12	24.62	30	28.00	261.13	285.75	95.25
27.5	Lempung Berlanau	31	23	21.83	12	25.00	31	28.67	266.74	291.74	97.25
30	Lempung Berlanau	25	20	21.50	12	24.62	25	28.00	261.13	285.75	95.25

Nilai N SPT kedalaman 27,5 m = 31 blow/m.

Menggunakan perumusan Terzaghi dan Peck, nilai N dibawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi N', dengan perumusan sebagai berikut :

$$N' = 15 + 0,5 (N-15)$$

$$N' = 15 + 0,5 (31-15)$$

$$N' = 23$$

N_p' adalah harga rata-rata SPT di sekitar 4D diatas hingga 4D dibawah dasar tiang pondasi, maka 4D = 4 x

0,5 m = 2,0 m. Karena nilai N SPT diperoleh dari hasil borlog setiap 2,5 m, maka yang dihitung adalah rata-rata nilai N SPT pada kedalaman 25 m hingga 30 m, sehingga

Nilai N SPT 25 m : 30 blow/m

Sehingga, nilai N' 25 m : 22,5 blow/m

Nilai N SPT 30 m : 25 blow/m

Sehingga, nilai N' 30 m : 20 blow/m

$$Np' = \frac{23 + 22,5 + 20}{3} = 21,83 \text{ blow/m}$$

$K = 12 \text{ t}^2/\text{m}$, untuk tanah lempung

$$Qp = \alpha(Np' \times K) Ap$$

$$Qp = 0,6 \times (21,83 \times 12) \times 0,159$$

$$Qp = 25,00 \text{ T}$$

Ns adalah nilai rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam dengan batasan $3 \leq N \leq 50$

$$Ns = \frac{30 + 31 + 25}{3} =$$

$$Ns = 28,67$$

$$Qs = \beta \left(\left(\frac{Ns}{3} \right) + 1 \right) As$$

$$Qs = 0,65 \left(\left(\frac{28,67}{3} \right) + 1 \right) 38,88$$

$$Qs = 266,74 \text{ T}$$

Sehingga daya dukung ijin tanah pada kedalaman 27,5 m adalah

$$Q_{all} = \frac{Q_L}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{(Q_p + Q_s)}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{291,74 \text{ T}}{3}$$

$$Q_{all} = 97,25 \text{ T}$$

c. Perhitungan Kebutuhan Pondasi Tiang

Perhitungan tiang pancang pada masing-masing joint dilakukan dengan cara membagi gaya pada joint dengan nilai Q_L tiang pancang. Gaya pada joint diperoleh dari hasil output SAP 2000.

Kebutuhan Pondasi Tiang Pancang Setiap Joint					
Joint	P Akibat Kombinasi Beban (Kgf)			Kebutuhan Tiang	
	1 DL + 1 LL	1 DL + 1 LL + 1 EQX	1 DL + 1 LL + 1 EQY	P Maks	n koreksi
1	38660.96	24201.61	57374.73	57374.73	2
2	69689.14	82962.43	84908.87	84908.87	2
3	70386.48	68176.24	96589.21	96589.21	2
4	68930.41	83888.61	86364.23	86364.23	2
5	69023.35	71864.81	100408.61	100408.61	2
6	68877.69	85430.49	87700.49	87700.49	2
7	42351.17	53226.86	52110.59	53226.86	2
8	53138.99	43054.14	40970.58	53138.99	2
9	107094.1	106681	98006.88	107094.09	2
10	99733.63	96432.11	88384.92	99733.63	2
11	105710.7	102590.41	94639.19	105710.71	2
12	100230	95296.59	87125.91	100229.99	2
13	107935.8	102155.02	94766	107935.75	2
14	56513.55	59601.78	46949.67	59601.78	2
15	82959.27	54666.89	60787.28	82959.27	2
16	127326.8	145115.9	130155.19	145115.9	2
17	142329.9	119071.24	118970.02	142329.91	2
18	127814.6	144599.86	129939.53	144599.86	2
19	143218.8	116656.47	116539.86	143218.84	2
20	129589.8	145571.89	130989.67	145571.89	2
21	72782.06	83052.74	80615.64	83052.74	2

Tabel 24. Kebutuhan Pondasi Tiang Pancang pada setiap Joint

- Perhitungan *pile cap* P1

Data Perencanaan

Kedalaman pondasi = 27,5 m

Diameter pondasi = 0,45 m

= 45 cm

Bj beton = 2,4 t/m³

Modulus elastisitas baja (Es) = 200000 Mpa

P_{ijin} bore pile = 134,9 T

Lebar kolom = 0,4 m

Tinggi kolom = 0,4 m

Tulangan utama = 19 mm

Mutu beton (f_c')	= 30 Mpa
Mutu baja (f_y)	= 400 Mpa
Tebal selimut beton	= 50 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.a)

Pada perencanaan pondasi ini diambil gaya aksial beban terbesar, yaitu:

Kombinasi	P max	Momen X	Momen Y
1 DL + 1 LL	129589,75	1456,08	152,13
1 DL + 1 LL + 1 EX	145571,89	5978,03	-8524,21
1 DL + 1 LL + 1 EY	130989,67	12809,05	-2099,7
Nilai terbesar	145571,89	12809,05	152,13

Perhitungan pondasi dengan 2 buah tiang pancang

Letak joint pondasi yang ditinjau : 20

Nilai P terbesar diantara kombinasi yang ditinjau:

$$P_{\max} = 145571,89 \text{ kg} = 145,57 \text{ Ton}$$

$$P_{\text{ijin}} = 97,25 \text{ Ton}$$

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\text{ijin}}} = \frac{145,57 \text{ T}}{97,25 \text{ T}} = 2 \text{ buah}$$

Maka, direncanakan pemasangan tiang pancang arah X sebanyak 1 buah dan arah y sebanyak 2 buah.

Perencanaan Dimensi Poer

Syarat jarak antar tiang pancang (S)				
2,5D	≤	S	≤	3D
112,5 cm	≤	S	≤	135 cm
Maka, menggunakan nilai S				120 cm

Syarat jarak antar tiang pancang ke tepi poer (S')				
1D	≤	S'	≤	1,5D
45 cm	≤	S'	≤	67,5 cm
Maka, menggunakan nilai S				60 cm

Mencari luas poer:

Dimensi poer arah X = 120 cm

Dimensi poer arah Y = 240 cm

$$Luas\ poer = \frac{120\ cm\ (240\ cm)}{(10000)}$$

$$Luas\ poer = 2,88\ m^2$$

Pengecekan Ulang Kebutuhan Tiang Pancang

Data perencanaan:

Tebal poer rencana = 0,5 m

Berat jenis tanah = 1850 kg/m³

Berat jenis beton = 2400 kg/m³

Mencari P_{max} total:

$$\begin{aligned} \text{Berat } poer &= \text{Luas } poer\ (BJ_{\text{beton}}/1000)\ (\text{Tebal} \\ &\text{rencana } poer) \\ &= (2,88\ m^2)\ (2400\text{kg}/m^3/1000)\ (0,5 \\ &\text{m}) \\ &= 3,46\ T \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tanah} &= \text{Luas } poer\ (BJ_{\text{tanah}}/1000)\ (\text{Tebal} \\ &\text{rencana } poer) \\ &= (2,88\ m^2)\ (1850\text{kg}/m^3/1000)\ (0,5 \\ &\text{m}) \\ &= 2,66\ T \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} P_{\text{max}}\ \text{total} &= P_{\text{max}} + \text{Berat } poer + \text{Berat tanah} \\ &= 145,57\ T + 3,46\ T + 2,66\ T \\ &= 151,69\ T \end{aligned}$$

Kebutuhan tiang pancang

$$n = \frac{P_{\text{max}}\ \text{total}}{P_{\text{ijin}}\ \text{tanah}} = \frac{151,69\ T}{97,25\ T} = 2\ \text{buah}$$

Setelah ditambahkan berat sendiri *poer dan tanah* dengan dimensi pakai, didapatkan bahwa jumlah tiang pancang yang diperlukan sebanyak 2 buah.

Kontrol Gaya dan Momen yang Bekerja pada Tiang Pancang

$$M = -\frac{H}{2\beta} e^{-\beta} (\sin\beta - \cos\beta)$$

(Sumber : Mekanika Tanah & Teknik Pondasi, Kazuto Nakazawa, Ir. Suyono Sosrodarsono)

M = momen lentur pada setiap bagian tiang (kg.cm)

H = gaya menurut sumbu orthogonal tiang (kg)

$$k = 0,2 \times E_0 \times D^{-3/4}$$

$$k = 9,99$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4EI}}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{9,99 \times 45}{4 \times 30277,63 \times 158962,5}}$$

$$\beta = 0,012$$

$$H = k \times P / \beta$$

$$H = 9,99 \times \frac{97,25}{0,012}$$

$$H = 80,96 \text{ T}$$

$$M = -\frac{H}{2\beta} e^{-\beta} (\sin\beta - \cos\beta)$$

$$M = -\frac{80,96}{(2 \times 0,012)} 2,71^{-0,012} (\sin 0,012 - \cos 0,012)$$

$$M = 33325,19 \text{ kg.cm} = 0,3 \text{ T.m}$$

Kontrol keamanan

M < M crack tiang pancang

0,3 T.m < 12,5 Ton.m

d. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Efisiensi

Dengan metode *Converce-Labarre* :

$$Efisiensi (\eta) = 1 - \theta \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90(m)(n)} \right)$$

(Sumber : *Analisa dan Desain Pondasi Jilid 2 Cetakan ke-4, Joseph E Bowles hal.343*)

Data perencanaan

Banyak tiang dalam kolom (m) : 2 buah

Banyak tiang dalam baris (n) : 1 buah

Diameter tiang pancang (D) : 0,45 m

Jarak antar tiang pancang (S) : 1,20 m

Maka, nilai efisiensi adalah:

$$Efisiensi (\eta) = 1 - \theta \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90(m)(n)} \right)$$

$$Efisiensi (\eta) = 1 - \theta \left(\frac{(1-1)2 + (2-1)1}{90(2)(1)} \right)$$

$$Efisiensi (\eta) = 0,886$$

Mencari nilai P_{ijin} terkoreksi

$$\begin{aligned} P_{ijin} \text{ terkoreksi} &= \eta (P_{ijin} \text{ tanah}) \\ &= 0,886 (97,25 \text{ T}) \\ &= 86,14 \text{ T} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} P_{ijin} \text{ terkoreksi} &< P_{ijin} \text{ bahan} \\ 86,14 \text{ T} &< 134,9 \text{ T} \quad \quad \quad \textbf{(OK)} \end{aligned}$$

e. Perhitungan Daya Dukung Tiang Dalam Kelompok (1DL + 1LL)

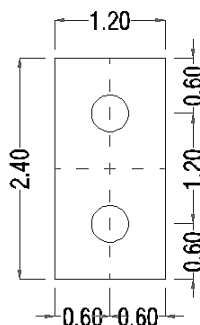
Berdasarkan output SAP 2000 didapatkan gaya-gaya dalam dari joint yang ditinjau dengan kombinasi beban 1DL + 1LL:

Joint	Object	20	Joint	Element	20
		1		2	3
Force		-6.252E-02		-1.035	129.590
Moment		1.456		0.152	-0.245

$$P_{\max} = 129,590 \text{ T}$$

$$\text{Momen X} = 1,456 \text{ Tm}$$

$$\text{Momen Y} = 0,152 \text{ Tm}$$



Jarak sumbu tiang ke titik berat susunan kelompok tiang

Tipe Tiang	X	X ²
P1	0 m	0 m
P2	0 m	0 m
ΣX^2		0 m
Tipe Tiang	Y	Y ²
P1	0,6 m	0,36 m
P2	-0,6 m	0,36 m
ΣY^2		0,72 m

Beban yang diterima pada satu tiang pancang

$$P = \frac{Pu}{np} \pm \frac{My(X)}{(ny)\Sigma X^2} \pm \frac{Mx(Y)}{(nx)\Sigma Y^2}$$

Untuk P1:

$$P1 = \frac{129,59 \text{ Ton}}{2 \text{ buah}} + \frac{1,456 \text{ Tm} (0,6 \text{ m})}{1 \text{ buah} (0,72 \text{ m})}$$

$$P1 = 66,01 \text{ Ton}$$

Untuk P2:

$$P2 = \frac{129,59 \text{ Ton}}{2 \text{ buah}} + \frac{1,456 \text{ Tm} (-0,6 \text{ m})}{1 \text{ buah} (0,72 \text{ m})}$$

$$P2 = 64,79 \text{ Ton}$$

Maka dipakai nilai P yang terbesar yaitu $P1 = 66,01 \text{ Ton}$
Kontrol

$$P_{\text{tiang}} < P_{\text{ijin tanah terkoreksi}}$$

$$66,01 \text{ T} < 86,14 \text{ T} \quad (\text{OK})$$

f. Perhitungan Daya Dukung Tiang Dalam Kelompok (1DL + 1LL + 1Ex)

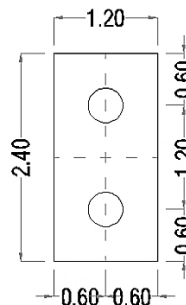
Berdasarkan output SAP 2000 didapatkan gaya-gaya dalam dari joint yang ditinjau dengan kombinasi beban 1DL + 1LL + 1Ex:

Joint	Object	20	Joint	Element	20
		1		2	3
Force		-5.709		-2.010	145.572
Moment		5.978		-8.524	-2.114

$$P_{\text{max}} = 145,572 \text{ T}$$

$$\text{Momen X} = 5,98 \text{ Tm}$$

$$\text{Momen Y} = -8,52 \text{ Tm}$$



Jarak sumbu tiang ke titik berat susunan kelompok tiang

Tipe Tiang	X	X ²
P1	0 m	0 m
P2	0 m	0 m

ΣX^2		0 m
Tipe Tiang	Y	Y^2
P1	0,6 m	0,36 m
P2	-0,6 m	0,36 m
ΣY^2		0,782 m

Beban yang diterima pada satu tiang pancang

$$P = \frac{Pu}{np} \pm \frac{My(X)}{(ny)\Sigma X^2} \pm \frac{Mx(Y)}{(nx)\Sigma Y^2}$$

Untuk P1:

$$P1 = \frac{145,572 \text{ Ton}}{2 \text{ buah}} + \frac{5,98 \text{ Tm} (0,6 \text{ m})}{1 \text{ buah} (0,782 \text{ m})}$$

$$P1 = 77,77 \text{ Ton}$$

Untuk P2:

$$P2 = \frac{145,572 \text{ Ton}}{2 \text{ buah}} + \frac{5,98 \text{ Tm} (-0,6 \text{ m})}{1 \text{ buah} (0,782 \text{ m})}$$

$$P2 = 67,8 \text{ Ton}$$

Maka dipakai nilai P yang terbesar yaitu $P1 = 77,77 \text{ Ton}$

Kontrol

$P_{\text{tiang}} < P_{\text{ijin tanah terkoreksi}}$

$$77,77 \text{ T} < 86,14 \text{ T} \quad (\text{OK})$$

g. Perhitungan Daya Dukung Tiang Dalam Kelompok (1DL + 1LL + 1Ey)

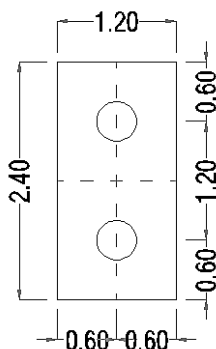
Berdasarkan output SAP 2000 didapatkan gaya-gaya dalam dari joint yang ditinjau dengan kombinasi beban 1DL + 1LL + 1Ey:

Joint	Object	20	Joint Element	20	
		1	2	3	
Force		-1.434	-6.294	130.990	
Moment		12.809	-2.100	-0.742	

$$P_{\text{max}} = 130,99 \text{ T}$$

$$\text{Momen X} = 13 \text{ Tm}$$

$$\text{Momen Y} = -2,1 \text{ Tm}$$



Jarak sumbu tiang ke titik berat susunan kelompok tiang

Tipe Tiang	X	X ²
P1	0 m	0 m
P2	0 m	0 m
ΣX^2		0 m
Tipe Tiang	Y	Y ²
P1	0,6 m	0,36 m
P2	-0,6 m	0,36 m
ΣY^2		0,72 m

Beban yang diterima pada satu tiang pancang

$$P = \frac{Pu}{np} \pm \frac{Mx(Y)}{(ny)\Sigma X^2} \pm \frac{My \cdot Y}{(nx)\Sigma Y^2}$$

Untuk P1:

$$P1 = \frac{130,99 \text{ Ton}}{2 \text{ buah}} + \frac{13 \text{ Tm} (0,6 \text{ m})}{1 \text{ buah} (0,72 \text{ m})}$$

$$P1 = 76,17 \text{ Ton}$$

Untuk P2:

$$P2 = \frac{130,99 \text{ Ton}}{2 \text{ buah}} + \frac{13 \text{ Tm} (-0,6 \text{ m})}{1 \text{ buah} (0,72 \text{ m})}$$

$$P2 = 54,82 \text{ Ton}$$

Maka dipakai nilai P yang terbesar yaitu $P1 = 76,17 \text{ Ton}$

Kontrol:

$$P_{\text{tiang}} < P_{\text{ijin tanah}} (\eta)$$

$$76,17 \text{ T} < 86,14 \text{ T} \quad (\text{OK})$$

h. Perhitungan Tebal PoerKontrol geser satu arah pada poer akibat kolom

- Data perencanaan	
Pu_{max}	= 145,57 T
Tebal poer rencana	= 0,5 m
Selimut beton	= 0,05 m
b (kolom)	= 40 cm
h (kolom)	= 40 cm
f_c'	= 30 Mpa
Faktor reduksi geser (ϕ)	= 0,75
λ	= 1

Kontrol tebal poer rencana:

$$\text{Tebal poer rencana} > 0,3 \text{ m}$$

$$0,5 \text{ m} > 0,3 \text{ m} \quad (\text{OK})$$

Sumber : SNI 2847-2013 pasal 15.7

Gaya geser satu arah pada penampang kritisData perencanaan:

$$\sigma (Pu_{\text{max}}/A) = 50,55 \text{ t/m}^2$$

$$h_w = 1,2 \text{ m}$$

$$d = \text{Tebal pondasi} - \text{selimut beton}$$

$$= 0,5 \text{ m} - 0,05 \text{ m}$$

$$= 0,45 \text{ m}$$

$$G' = h_w/2 - (1/2 \text{ Lebar kolom}) - d$$

$$= 1,2 \text{ m}/2 - (1/2 \cdot 0,4 \text{ m}) - 0,45 \text{ m}$$

$$= 0,55 \text{ m}$$

$$Vu = \sigma(hw)G'$$

$$Vu = 50,55 \frac{\text{t}}{\text{m}^2} (1,2 \text{ m})(0,55 \text{ m})$$

$$Vu = 33,36 \text{ T}$$

Cek kuat geser beton

$$V_c = 0,17\lambda(\sqrt{f'c'}(bw)d$$

$$V_c = 0,17(1)(\sqrt{30 \text{ MPa}}(1,2 \text{ m})0,45 \text{ m}$$

$$V_c = 50,28 \text{ T}$$

Kontrol tebal poer rencana

$$V_u < V_c$$

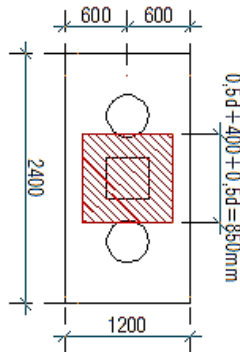
$$33,36 \text{ T} < 50,28 \text{ T} \quad \textbf{(OK)}$$

i. Kontrol Geser Dua Arah pada Poer Akibat Kolom

Dalam kontrol geser dua arah, V_u yang terjadi harus lebih kecil dari persamaan yang menghasilkan nilai V_c terkecil pada SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (a),(b),(c)

Data perencanaan

$$V_u = 172,28 \text{ T}$$

Cek kuat geser betonData perencanaan

$$a_n \text{ (sisi panjang kolom)} = 400 \text{ mm}$$

$$b_n \text{ (sisi pendek kolom)} = 400 \text{ mm}$$

$$\beta \text{ (} a_n/b_n \text{)} = 1,00$$

$$d \text{ (tebal pondasi – selimut beton)} = 450 \text{ mm}$$

$$b_0 \text{ (keliling penampang kritis)} = 3400 \text{ mm}$$

- Persamaan 1 (a)

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b_0 \cdot (d)$$

$$V_c = 0,17\left(1 + \frac{2}{1}\right)1\sqrt{30 \text{ Mpa}}(3400 \text{ mm})(450 \text{ mm})$$

$$V_c = 427,39 \text{ T}$$

- Persamaan 2 (b)

As		
Kolom interior	Kolom tepi	Kolom Sudut
40	30	20

$$V_c = 0,083 \left(\frac{as(d)}{b_0} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c'} b_0 (d)$$

$$V_c = 507,34 \text{ T}$$

- Persamaan 3 (c)

$$V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} b_0 (d)$$

$$V_c = 0,33(1)\sqrt{30 \text{ Mpa}}(3400 \text{ mm})(450 \text{ mm})$$

$$V_c = 276,55 \text{ T}$$

Dari ke-3 persamaan di atas, maka dipakai nilai V_c terkecil yakni pada persamaan ke-3 dengan nilai $V_c = 276,55 \text{ Ton}$.

Kontrol kuat geser dua arah

$$V_u < \phi V_c$$

$$172,28 \text{ T} < 0,75 (276,55 \text{ T})$$

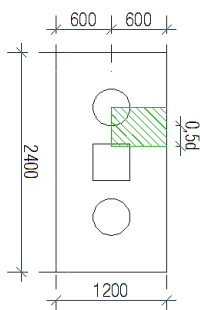
$$172,28 \text{ T} < 207,41 \text{ T} \quad \textbf{(OK)}$$

j. Kontrol Geser Dua Arah Pada Poer Akibat Tiang Pancang

Dalam kontrol geser dua arah, V_u yang terjadi harus lebih kecil dari persamaan yang menghasilkan nilai V_c terkecil pada SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (a), (b), (c)

Data perencanaan

$$V_u = 86,14 \text{ T}$$



Cek kuat geser beton

Data perencanaan

- a_n (sisi panjang kolom) = 400 mm
- b_n (sisi pendek kolom) = 400 mm
- β (a_n/b_n) = 1,00
- d (tebal pondasi – selimut beton) = 450 mm
- b_0 (keliling penampang kritis) = 2826 mm

- Persamaan 1 (a)

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c'} b_0 (d)$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) 1 \sqrt{30 \text{ Mpa}} (2826 \text{ mm}) (450 \text{ mm})$$

$$V_c = 355,23 \text{ T}$$

- Persamaan 2 (b)

As		
Kolom interior	Kolom tepi	Kolom Sudut
40	30	20

$$V_c = 0,083 \left(\frac{As(d)}{b_0} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c'} b_0 (d)$$

$$V_c = 483,86 \text{ T}$$

- Persamaan 3 (c)

$$V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} b_0 (d)$$

$$V_c = 0,33 (1) \sqrt{30 \text{ Mpa}} (2826 \text{ mm}) (450 \text{ mm})$$

$$V_c = 229,86 \text{ T}$$

Dari ke-3 persamaan di atas, maka dipakai nilai V_c terkecil yakni pada persamaan ke-3 dengan nilai $V_c = 229,86$ Ton.

Kontrol kuat geser dua arah

$$V_u < \phi V_c$$

$$86,14 \text{ T} < 0,75 (229,86 \text{ Ton})$$

$$86,14 \text{ T} < 172,39 \text{ T} \quad \quad \quad \textbf{(OK)}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan perencanaan dimensi poer

Rekapitulasi perhitungan dimensi poer		Nilai		
Dimensi poer		120 cm	x	240 cm
Tebal poer		50 cm		
Jumlah tiang pancang	Arah X	1 buah		
	Arah Y	2 buah		
Jarak antar tiang pancang (S)		120 cm		
Jarak tiang pancang ke tepi poer (S')		60 cm		

k. Perencanaan Tulangan Lentur Poer

Data perencanaan

$$\text{Dimensi poer} = 120 \text{ cm} \times 240 \text{ cm}$$

$$\text{Jumlah tiang pancang} = 2 \text{ buah}$$

$$\text{Dimensi kolom} = 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$$

$$\text{Mutu beton (f'c')} = 30 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu baja (f'y)} = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal poer} = 500 \text{ mm}$$

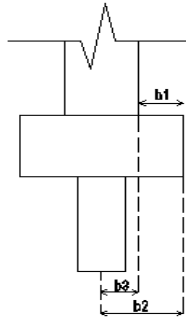
$$\phi = 0,9$$

$$\beta = 0,85$$

$$d_x (\text{tebal poer} - \text{selimut beton} - D_{\text{tul}}/2) = 490,45 \text{ mm}$$

$$d_y (\text{tebal poer} - \text{selimut beton} - D_{\text{lentur}} - D_{\text{tul}}/2) = 471,45 \text{ mm}$$

Pembebanan yang terjadi pada poer

Poer arah X

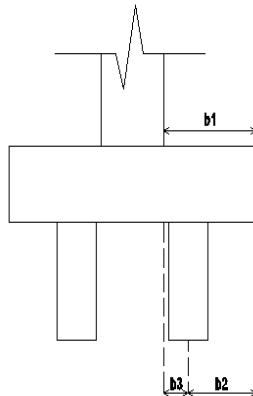
$$b1 = \left(\frac{b_{poer}}{2} - \frac{\text{Dimensi kolom}}{2} \right) (10)$$

$$b1 = \left(\frac{120 \text{ cm}}{2} - \frac{40 \text{ cm}}{2} \right) (10)$$

$$b1 = 400 \text{ mm}$$

$$b2 = S'(10) = 60 \text{ cm} (10) = 600 \text{ mm}$$

$$b3 = 0$$

Poer arah Y

$$b1 = \left(\frac{h_{poer}}{2} - \frac{\text{Dimensi kolom}}{2} \right) (10)$$

$$b_1 = \left(\frac{240 \text{ cm}}{2} - \frac{40 \text{ cm}}{2} \right) (10)$$

$$b_1 = 1000 \text{ mm}$$

$$b_2 = S'(10) = 60 \text{ cm} (10) = 600 \text{ mm}$$

$$b_3 = b_1 - b_2 = 1000 \text{ mm} - 600 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$$

Penulangan *poer* arah X

Menghitung berat *poer*:

$$\text{Berat } poer = (h_{poer}/100) B J_{beton} (\text{tebal}_{poer}/1000) (b_{1x}/1000)$$

$$\text{Berat } poer = (240/100)(2400)(500/1000)(400/1000)$$

$$\text{Berat } poer = 1152 \text{ kg}$$

P_{max} beban tiang dipakai yang memiliki nilai terbesar

$$P_{max} = 77767,64 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi

$$M_u = \text{Momen } poer$$

$$= \text{Berat } poer (0,5(b_{1x}/1000))$$

$$= 1152 \text{ kg} \cdot (0,5(400 \text{ cm}/1000))$$

$$= 230400 \text{ Nmm}$$

Tulangan perlu maksimum dan minimum:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_{max} = 0,75 \left(\frac{0,85(f_c')\beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \left(\frac{0,85(30)0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85(f_c')} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{2304000 \text{ Nmm}}{0,9} = 2560000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{2560000 \text{ Nmm}}{1000(490,45 \text{ mm})^2} = 0,011$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)0,011}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,000027$$

Maka digunakan nilai $\rho_{\min} = 0,0035$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho (b) d \\ &= 0,0035 (1000 \text{ mm}) 490,45 \text{ mm} \\ &= 1716,58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{tul} &= \frac{0,25\pi(D)^2(b)}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\ S_{tul} &= \frac{0,25\pi(19 \text{ mm})^2(1000 \text{ mm})}{1716,58 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$S_{tul} = 165,171 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Maka tulangan yang dipakai adalah D19 dengan jarak 150 mm.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25\pi(D)^2b}{S_{tul}} \\ A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25\pi(19 \text{ mm})^2(1000 \text{ mm})}{150 \text{ mm}} \\ A_{s_{\text{pakai}}} &= 1889,23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol nilai $A_{s_{\text{pakai}}}$ dan $A_{s_{\text{perlu}}}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &> A_{s_{\text{perlu}}} \\ 1889,23 \text{ mm}^2 &> 1716,58 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad \textbf{(OK)}$$

Penulangan *poer* arah Y

Menghitung berat *poer*:

$$\text{Berat poer} = (h_{\text{poer}}/100) B J_{\text{beton}} (\text{tebal}_{\text{poer}}/1000) (b l_y/1000)$$

$$\text{Berat poer} = (240/100) 2400 (500/1000) (1000/1000)$$

$$\text{Berat poer} = 2880 \text{ kg}$$

P_{max} beban tiang dipakai yang memiliki nilai terbesar

$$P_{\text{max}} = 77767,64 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi:

$$Mu = -\text{Momen poer} + \text{Momen tiang pancang}$$

$$= -1440 \text{ kgm} + 31107,055 \text{ kgm}$$

$$= 29667,055 \text{ kgm}$$

$$= 296670546.7 \text{ Nmm}$$

Tulangan perlu maksimum dan minimum:

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \left(\frac{0,85(f_c')\beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \left(\frac{0,85(30)0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85(f_c')} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85(30 \text{ Mpa})} = 15,69$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{296670546.7 \text{ Nmm}}{0,9} = 296670547 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b(d^2)} = \frac{296670547 \text{ Nmm}}{1000(471,45 \text{ mm})^2} = 1,335$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(m)Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69)1,335}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,003429$$

Nilai ρ diperbesar 30% = $1,3 \times 0,003429 = 0,0045$

Maka digunakan nilai $\rho = 0,0045$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho (b) d \\ &= 0,0045 (1000 \text{ mm}) 471,45 \text{ mm} \\ &= 2101,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak spasi tulangan:

$$S_{tul} = \frac{0,25\pi(D)^2(b)}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S_{tul} = \frac{0,25\pi(19 \text{ mm})^2(1000 \text{ mm})}{2101,66 \text{ mm}^2}$$

$$S_{tul} = 134,907 \text{ mm} = 125 \text{ mm}$$

Maka tulangan yang dipakai adalah D19 dengan jarak 125 mm.

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25\pi D^2 b}{S_{tul}}$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25\pi(19 \text{ mm})^2(1000 \text{ mm})}{125 \text{ mm}}$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = 2267,08 \text{ mm}^2$$

Kontrol nilai $A_{s_{\text{pakai}}}$ dan $A_{s_{\text{perlu}}}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &> A_{s_{\text{perlu}}} \\ 2267,08 \text{ mm}^2 &> 2101,66 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

I. **Transfer Beban Kolom Ke Pondasi**

Kuat tekan rencana berdasarkan tegangan ultimate beton sebesar $0,85 f_c'$ adalah:

Kuat tumpu pada dasar kolom :

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi(0,85 f_c') A_g \\ \phi P_n &= 0,65(0,85)30 \text{ Mpa}\{(400 \text{ mm})(400 \text{ mm})\} \\ \phi P_n &= 2652000 \text{ N} = 265,2 \text{ T}\end{aligned}$$

Cek syarat kuat tekan rencana:

$$\begin{aligned}\phi P_n &> P_{\max} \\ 265,2 \text{ T} &> 145,57 \text{ T} \quad \quad \quad \textbf{(OK)}\end{aligned}$$

Maka, menggunakan tulangan minimum sesuai syarat pada **SNI 2847:2013 Pasal 15.8.2.1**, yang menyatakan bahwa tulangan minimum sebesar 0,005 kali luas bruto komponen struktur yang ditumpu, yaitu sebesar :

$$0,005(400)(400) = 800 \text{ mm}^2, \text{ atau dapat digunakan tulangan stek } \mathbf{4D19} (A_s = 1132 \text{ mm}^2).$$

m. Panjang penyaluran tulangan stek

Panjang penyaluran dapat diambil dari nilai terbesar antara :

$$\begin{aligned}l_{dc} &= \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} d_b = \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 19 = 333,015 \text{ mm} \\ l_d &= 0,043 \cdot d_b \cdot f_y = 326,8 \text{ mm} \\ l_d &= 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Nilai panjang penyaluran minimum dari nilai terbesar persamaan diatas adalah 333,015 mm. Dinyatakan memenuhi sebab, panjang penyaluran tersedia sepanjang tebal *pilecap* yaitu 500 mm.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam perencanaan struktur bangunan ruko 4 lantai ini terdapat beberapa perubahan yaitu:
 - Jumlah lantai direncanakan menjadi 4 lantai dari jumlah awal 3 lantai.
 - Rangka atap bangunan dirubah menjadi rangka atap beton dari yang awalnya adalah rangka atap baja.
 - Perubahan denah dan letak ruangan.
2. Perencanaan struktur bangunan ruko 4 lantai dengan kategori resiko IV dan kelas situs SD termasuk kedalam kategori desain seismik C dapat dirancang dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
3. Dari seluruh pembahasan perhitungan struktur bangunan ruko 4 lantai di daerah Sumenep, Jawa Timur, yang telah diuraikan dapat diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:
 - Komponen pelat

Pelat lantai

Perencanaan dimensi pelat lantai beton bertulang dengan tebal (t) = 12 cm.

Perencanaan penulangan pelat lantai

Tipe Pelat	Momen Pelat	Lantai 2		Lantai 3		Lantai 4		Lantai Atap	
		Ø	S (mm)	Ø	S (mm)	Ø	S (mm)	Ø	S (mm)
P1	M _{Lx}	10	200	10	200	8	150	8	150
	M _{Ly}	8	150	8	150	8	175	8	175
	M _{Tx}	10	200	10	200	8	150	8	150
	M _{Ty}	8	150	8	150	8	175	8	175
P2	M _{Lx}	10	200	10	200	8	150	8	150
	M _{Tx}	8	150	8	150	8	150	8	150
P3	M _{Lx}	8	150	8	150	8	150		
	M _{Tx}	8	150	8	150	8	150		

P4	M _{Lx}	8	150	8	150	8	150	8	150
	M _{Tx}	8	150	8	150	8	150	8	150
P5	M _{Lx}			8	150	8	150		
	M _{Ly}			8	175	8	175		
	M _{Tx}			8	150	8	150		
	M _{Ty}			8	175	8	175		
P6	M _{Lx}	8	150	8	150	8	150		
	M _{Ly}	8	175	8	175	8	175		
	M _{Tx}	8	150	8	150	8	150		
	M _{Ty}	8	175	8	175	8	175		
P7	M _{Lx}			8	150	8	150		
	M _{Ly}			8	175	8	175		
	M _{Tx}			8	150	8	150		
	M _{Ty}			8	175	8	175		
P8	M _{Lx}	8	150	8	150	8	150		
	M _{Ly}	8	175	8	175	8	175		
	M _{Tx}	8	150	8	150	8	150		
	M _{Ty}	8	175	8	175	8	175		
P9	M _{Lx}			8	150	8	150		
	M _{Tx}			8	150	8	150		
P10	M _{Lx}			8	150	8	150		
	M _{Ly}			8	175	8	175		
	M _{Tx}			8	150	8	150		
	M _{Ty}			8	175	8	175		
P11	M _{Lx}	8	150						
	M _{Tx}	8	150						
P12	M _{Lx}			8	150	8	150	8	150
	M _{Tx}			8	150	8	150	8	150
P13	M _{Lx}			8	150	8	150	8	150
	M _{Tx}			8	150	8	150	8	150
P14	M _{Lx}							8	125
	M _{Ly}							8	175
	M _{Tx}							8	125
	M _{Ty}							8	175

Tabel 25. Tabel Tulangan Pelat

Untuk tulangan susut suhu, dipakai tulangan dengan Ø10-200 mm.

- Komponen tangga

Perencanaan dimensi pelat tangga utama dengan tebal (t) = 15 cm dan pelat bordes tangga utama dengan tebal (t) = 15 cm. Perencanaan penulangan tangga utama:

Pelat tangga	Arah X	D13-150 mm
	Arah Y	D16-200 mm
Pelat bordes	Arah X	D13-200 mm
	Arah Y	D16-150 mm

Tabel 26. Tabel Tulangan Tangga dan Bordes

- Komponen balok

Perencanaan dimensi balok:

Balok induk (B1) = 30/50

Balok induk (B2) = 30/40

Balok induk (B3) = 25/35

Balok (B1-B) = 30/50

Balok (B3-B) = 25/35

Balok anak (B2-2) = 20/30

Balok bordes (BB) = 30/40

Sloof (S) = 35/50

Tipe Balok	Tulangan Torsi	Tulangan lentur				Tulangan Geser	
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
		Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
B1	2 D 13	4 D 22	2 D 22	2 D 22	2 D 22	Ø12-80	Ø12-150
B1 (atap)	-	3 D 19	2 D 19	3 D 19	2 D 19	Ø12-80	Ø12-150
B1 B	2 D 13	3 D 19	2 D 19	2 D 19	2 D 19	Ø12-70	Ø12-150
B2	2 D 13	5 D 22	2 D 22	3 D 22	2 D 22	Ø12-65	Ø12-125
B2 (atap)	-	3 D 19	2 D 19	2 D 19	2 D 19	Ø12-85	Ø12-150
B3	2 D 13	3 D 22	2 D 22	2 D 22	2 D 22	Ø12-70	Ø12-125
B3 (atap)	2 D 13	2 D 19	2 D 19	2 D 19	2 D 19	Ø12-75	Ø12-150
B3 B	2 D 13	2 D 19	2 D 19	2 D 19	2 D 19	Ø12-50	Ø12-150
B1-2	2 D 13	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	Ø10-60	Ø10-100
B2-2	2 D 13	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	Ø10-50	Ø10-100

BB	2 D 13	4 D 19	2 D 19	2 D 19	2 D 19	Ø12-85	Ø12-150
S	2 D 13	3 D 19	2 D 19	3 D 19	2 D 19	Ø12-80	Ø12-150

Tabel 27. Tabel Tulangan Balok

- Komponen kolom

Lantai	Tinggi	Dimensi	Tul. Lentur	Tul. Geser
	(cm)	(cm)		
1	330	40/40	12D19	Ø10-150 mm
2	357	40/40	12D19	Ø10-120 mm
3	357	40/40	8D19	Ø10-120 mm
4	352	40/40	4D19	Ø10-120 mm

Tabel 28. Tabel Tulangan Kolom

- Struktur Bawah
Pondasi

Jenis pondasi	Tiang pancang	Sumber
Kedalaman	27,5 m	
Diameter	0,45 m	<i>Brosur</i>
Kelas tiang pancang	C	<i>Brosur</i>
P _{ijin} tiang pancang	134,9 Ton	<i>Brosur</i>
Berat tiang pancang	232 kg/m	<i>Brosur</i>
fc' tiang pancang	41,5 Mpa	<i>Brosur</i>
M _{crack} tiang pancang	12,5 Ton.m	<i>Brosur</i>
Jumlah tiang per kolom	2 buah	
Jumlah total tiang pancang	42 buah	

Pile Cap

No	Tipe Pile Cap	Diameter	Tulangan Lentur	
			Arah X	Arah Y
1	P1	1,2 x 2,4 x 0,5	D19-150	D19-125

5.2 Saran

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, didapatkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Dalam pengumpulan data yang diperlukan untuk perencanaan perhitungan, dibutuhkan data yang lengkap mulai dari gambar struktur dan gambar arsitek serta data-data pendukung lain seperti data tanah dan hasil SPT.
2. Penentuan preliminary desain struktur harus mempertimbangkan efisiensi dari dimensi yang digunakan serta perhitungan penulangan untuk elemen struktur harus mempertimbangkan kecukupan penampang untuk menahan tulangan tersebut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerjaan Umum 1983, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)*. Bandung: Ditjen Cipta Karya Direktorat Masalah Bangunan.

Departemen Pekerjaan Umum 2013, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional (BSN).

Departemen Pekerjaan Umum 2013, *Tata Cara Perencanaan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 1727-2013)*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional (BSN).

Departemen Pekerjaan Umum 2013, *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1726-2012)*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional (BSN).

Kementerian Pekerjaan Umum 2010, *Peta Hazard Gempa Indonesia*. Jakarta: Menteri Pekerjaan Umum.

Departemen Pekerjaan Umum 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971)*. Bandung: Panitia Pembaharuan Peraturan Beton Bertulang Indonesia

Setiawan, Agus., 2016, *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta:Erlangga.

Wahjudi, Herman,Dr,Ir. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya : Institut Teknologi sepuluh Nopember

Nakazawa, Kazuto. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta:Pradnya Paramita.

indrakrajsuweda.blogspot.com/2017/04/daya-dukung-tiang-pondasi-berdasarkan.html

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS 1



Fariha Dwi Novayanti, dilahirkan di Pasuruan, 2 Nopember 1998 adalah anak bungsu dari dua bersaudara. Penulis ini telah menempuh pendidikan di TK Plus Assalam Sidoarjo, SDN Baujeng II Pandaan, SMPBP Amanatul Ummah Mojokerto, dan MA Akselerasi Mojokerto. Setelah lulus dari MA Akselerasi Mojokerto pada tahun 2015, penulis mengikuti Seleksi Masuk ITS (SMITS) Program Studi Diploma III ITS dan diterima di jurusan Teknik Infrastruktur Sipil

dengan nomor pokok mahasiswa 101115 000 001 03. Selama perkuliahan, penulis mengambil konsentrasi pada Bangunan Gedung. Penulis pernah mengikuti acara jurusan yang diselenggarakan setiap tahunnya, yakni D'VILLAGE sebagai panitia Sub Event Closing untuk D'VILLAGE 6TH EDITION pada tahun 2016 dan VILLAGE 7TH EDITION pada tahun 2017.

UCAPAN TERIMA KASIH PENULIS 1

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini. Tidak lupa pula kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW, semoga kita mendapatkan syafa'atnya kelak di akhirat nanti. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian Tugas Akhir Terapan (TAT) ini.

- **Dosen pembimbing**, Bapak Ridho Bayuaji ST., MT., PhD, yang telah memberikan dukungan, arahan, serta bimbingan selama proses penyusunan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini.
- **Bapak/Ibu dosen penguji**, Bapak Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. Engsc. PhD, Bapak Afif Navir Revani, ST., MT, dan Bapak Ir. Sungkono, CES, atas segala kritikan, saran, dan koreksinya dalam penyempurnaan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini.
- **Keluarga**, Ibu, Bapak, dan adik atas segala dukungan, doa, dan semangat dalam proses pengerjaan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini hingga selesai.
- **Partner Tugas Akhir Terapan (TAT)**, Bintang Ayu Artyasari yang telah berjuang bersama dalam pengerjaan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini hingga selesai.
- **Seluruh teman-teman BG 2015**, yang telah memberikan banyak sekali dukungan, doa, waktu, dan tenaga kepada penulis untuk menyelesaikan berbagai kesulitan dalam pengerjaan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini.

BIODATA PENULIS 2



Bintang Ayu Artyasari, dilahirkan di Trenggalek, 30 Juni 1997 adalah anak sulung dari dua bersaudara. Penulis ini telah menempuh pendidikan di TK Mekar Sari III Surabaya, SDN Menur Pumpungan Surabaya, SMPN 19 Surabaya, dan SMA Gita Kirtti (GIKI) 3 Surabaya. Setelah lulus dari SMA Gita Kirtti (GIKI) 3 Surabaya pada tahun 2015, penulis mengikuti Seleksi Masuk ITS (SMITS) Program Studi Diploma III ITS dan diterima di jurusan Teknik Infrastruktur Sipil dengan nomor pokok mahasiswa 101115 000 001 47. Selama perkuliahan, penulis mengambil konsentrasi pada Bangunan Gedung. Penulis pernah mengikuti acara jurusan yang diselenggarakan setiap tahunnya, yakni D’VILLAGE sebagai Medical Committe untuk D’VILLAGE 6TH EDITION pada tahun 2016 dan VILLAGE 7TH EDITION pada tahun 2017. Selain itu pernah mengikuti acara institut yaitu Pekan Olahraga Mahasiswa ITS (POMITS) yang diselenggarakan pada tanggal 12 Maret 2017 untuk UKM Billiard.

UCAPAN TERIMA KASIH PENULIS 2

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini. Tidak lupa pula kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW, semoga kita mendapatkan syafa'atnya kelak di akhirat nanti. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian Tugas Akhir Terapan (TAT) ini.

- **Dosen pembimbing**, Bapak Ridho Bayuaji ST., MT., PhD, yang telah memberikan dukungan, arahan, serta bimbingan selama proses penyusunan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini.
- **Bapak/Ibu dosen penguji**, Bapak Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. Engsc. PhD, Bapak Afif Navir Revani, ST., MT, dan Bapak Ir. Sungkono, CES, atas segala kritikan, saran, dan koreksinya dalam penyempurnaan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini.
- **Keluarga**, Ibu, Bapak, dan adik atas segala dukungan, doa, dan semangat dalam proses pengerjaan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini hingga selesai.
- **Partner Tugas Akhir Terapan (TAT)**, Fariha Dwi Novayanti yang telah berjuang bersama dalam pengerjaan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini hingga selesai.
- **Seluruh teman-teman BG 2015**, yang telah memberikan banyak sekali dukungan, doa, waktu, dan tenaga kepada penulis untuk menyelesaikan berbagai kesulitan dalam pengerjaan Tugas Akhir Terapan (TAT) ini.

Lampiran 1



BRICKWORK

Project Name: _____

Date: _____

Location: _____

Estimate No: _____

No	Kedalaman Tanah (Di)	Tebal Tanah	N	Di/N
	M	m		
1	0		0	
2	2,5	2,5	14	0,17857
3	5	2,5	20	0,125
4	7,5	2,5	18	0,13889
5	10	2,5	20	0,125
6	12,5	2,5	17	0,14706
7	15	2,5	17	0,14706
8	17,5	2,5	19	0,13158
9	20	2,5	20	0,125
10	22,5	2,5	23	0,1087
11	25	2,5	30	0,08333
12	27,5	2,5	31	0,08065
13	30	2,5	32	0,1
Jumlah		30		1,49083

Tabel Perhitungan Data Tanah

Kondisi tanah:

$$\text{Nrata - rata} = \frac{\sum_{i=0}^n di}{\sum_{i=0}^n di/N} = 20,123 \gg \text{Tanah Sedang}$$

PGA (g)	0,235	Sedang
SS (g)	0,458	
S1 (g)	0,179	
CRS	0,942	
CR1	0,935	
FPGA	1,331	
FA	1,433	
FV	2,084	
PSA (g)	0,312	
SMS (g)	0,657	
SMI (g)	0,373	
SDS (g)	0,438	
SD1 (g)	0,249	
T0 (g)	0,114	
TS (g)	0,568	

Tabel Penentuan Kondisi Tanah

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons
Percepatan Pada Perioda Pendek

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons
Percepatan Pada Perioda 1 Detik



DINDING

◆ Plester D200

- Digunakan untuk pekerjaan plester dan pasangan bata.
- Ketebalan aplikasi 8-10 mm
- Memiliki daya rekat dan workability yang baik.
- Daya sebar: $\approx 2-2.5 \text{ m}^2/10\text{mm}$



40kg



Acian dinding dan plester

◆ Acian S100

- Warna abu-abu muda
- Cocok untuk ekpose interior
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar: $\approx 10-12 \text{ m}^2/2\text{mm}$



30kg



◆ Acian NP S450

- Warna cream
- Cat lebih hemat
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar: $\approx 10-12 \text{ m}^2/2\text{mm}$
- 5-7 hari bisa langsung di cat



30kg



Acian dinding plester dan beton

◆ SKIMCOAT S200

- Daya rekat tinggi untuk beton dengan permukaan licin
- Mengurangi retak
- Daya sebar: $9-12 \text{ m}^2/30 \text{ kg}$



30kg



◆ SKIMKOT PUTIH S500

- Acian putih untuk ekpose dak beton (bagian dalam)
- Mengurangi retak
- Tanpa piamer dan cat dasar
- Menghemat cat
- Daya sebar: $9-11 \text{ m}^2/20 \text{ kg}$



20kg

◆ Thinbed 101 TB101

- Perakot bata ringan dengan ketebalan spesi antara 2 - 3 mm
- Memiliki daya rekat yang baik
- Daya sebar: $\approx 10-11 \text{ m}^2/3\text{mm}$ (40 kg)
- (ukuran blok 200x10 cm)
- Cepat dalam pengerjaannya



40kg



Khusus
Bata Ringan

◆ Plester Ringan 1.6 S150

- Plester aci bata ringan dalam 1 aplikasi
- Plester aci bata ringan (one coat system) dengan ketebalan spesi antara 5 - 8 mm
- Plester lebih ringan
- Daya sebar: $\approx 4.5-6.5 \text{ m}^2/5-8\text{mm}$ (50 kg)
- (ukuran blok 200x10 cm)
- Lebih cepat dan hemat dalam pekerjaan



50kg

Produk lainnya

◆ Concrete Fill R200

Memperbaiki retak & celah beton

- Bahan perbaiki bonding dinding plester antara permukaan beton
- Sebagai bahan pengisi keropos pada beton, celah pada panel, dll.
- Tebal aplikasi 3-15 mm



25kg
40kg

◆ Beton

Beton instan siap pakai

- Tersedia K 175, K 225, K300



50kg

◆ Bonding Agent L007

Bonding untuk beton dan mortar

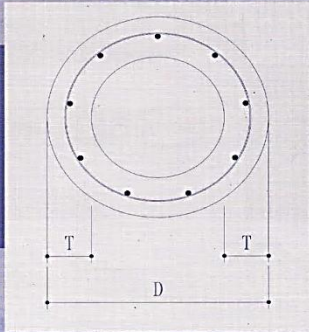


1L

www.drymix.co.id

Brosur Dinding

Shape and Dimension



Classification

Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending Moment Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	Allowable Axial Load (Ton)
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
500	90	C				12.50	25.00	134.90
		A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
600	100	B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
		A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50

Brosur Tiang Pancang



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

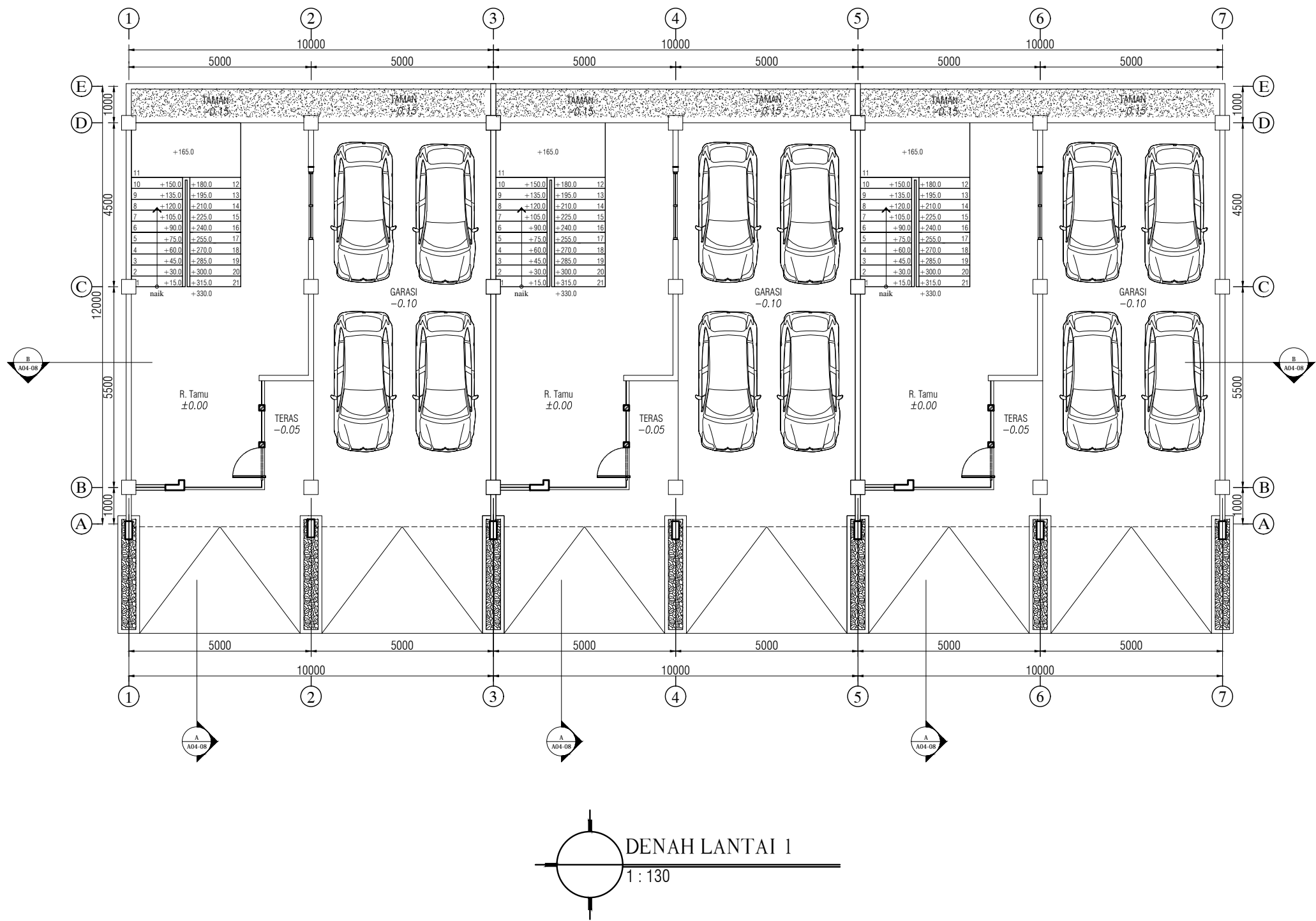
JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI 1

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
ARS-1	1	29





TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

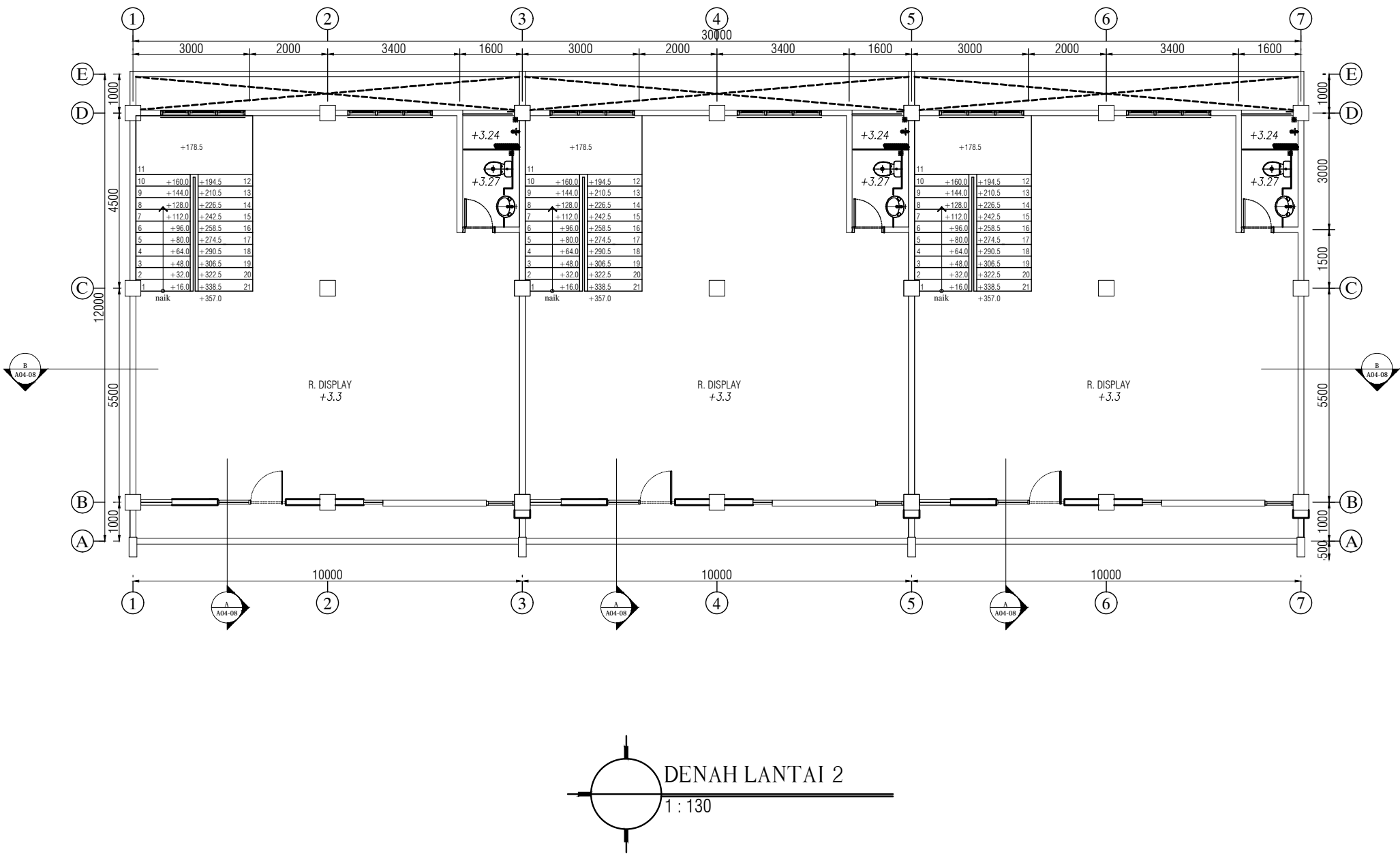
JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI 2

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
ARS-2	2	29





TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJL, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

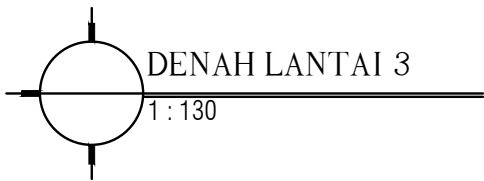
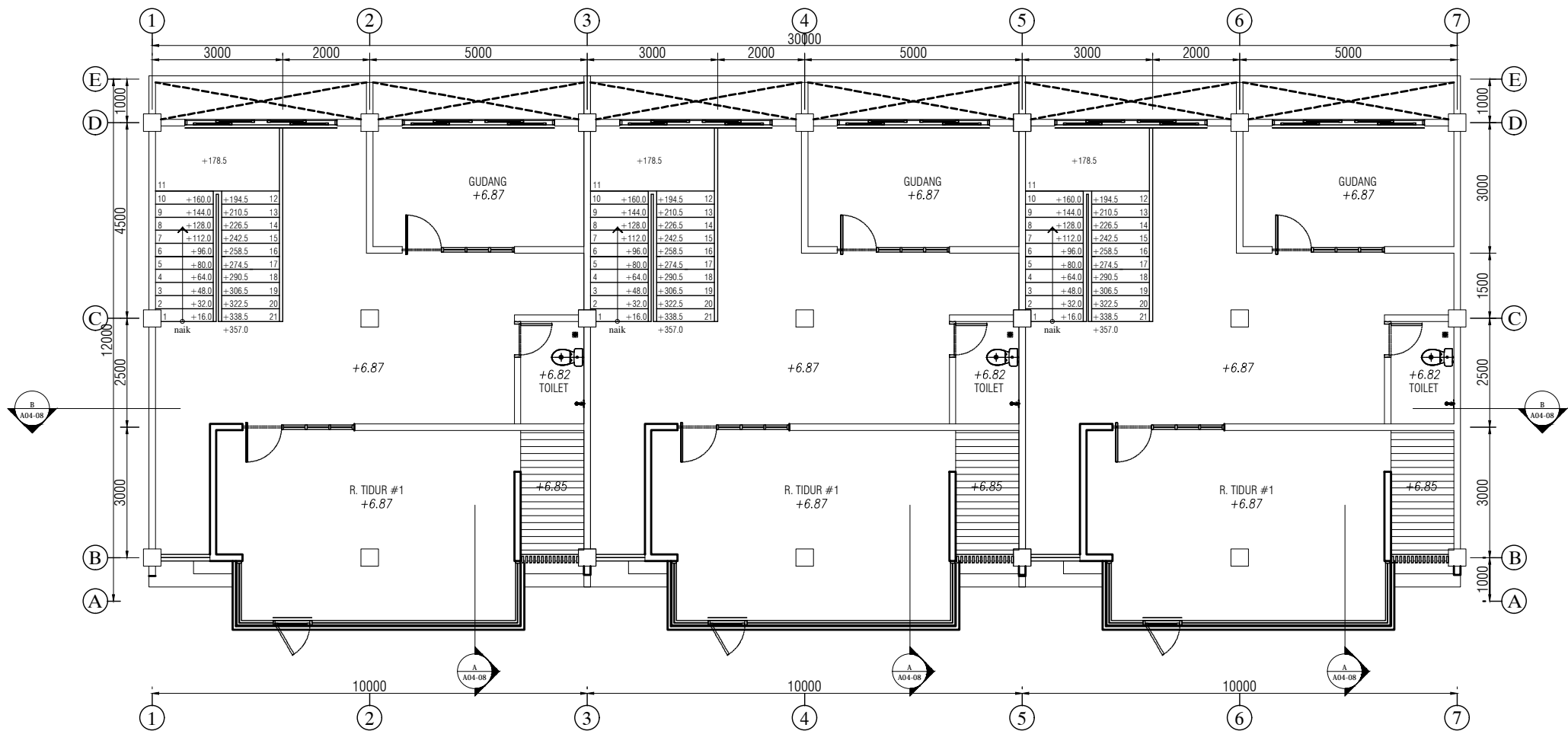
JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI 3

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
ARS-3	3	29





TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

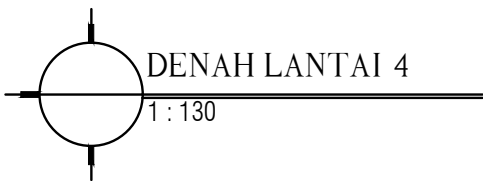
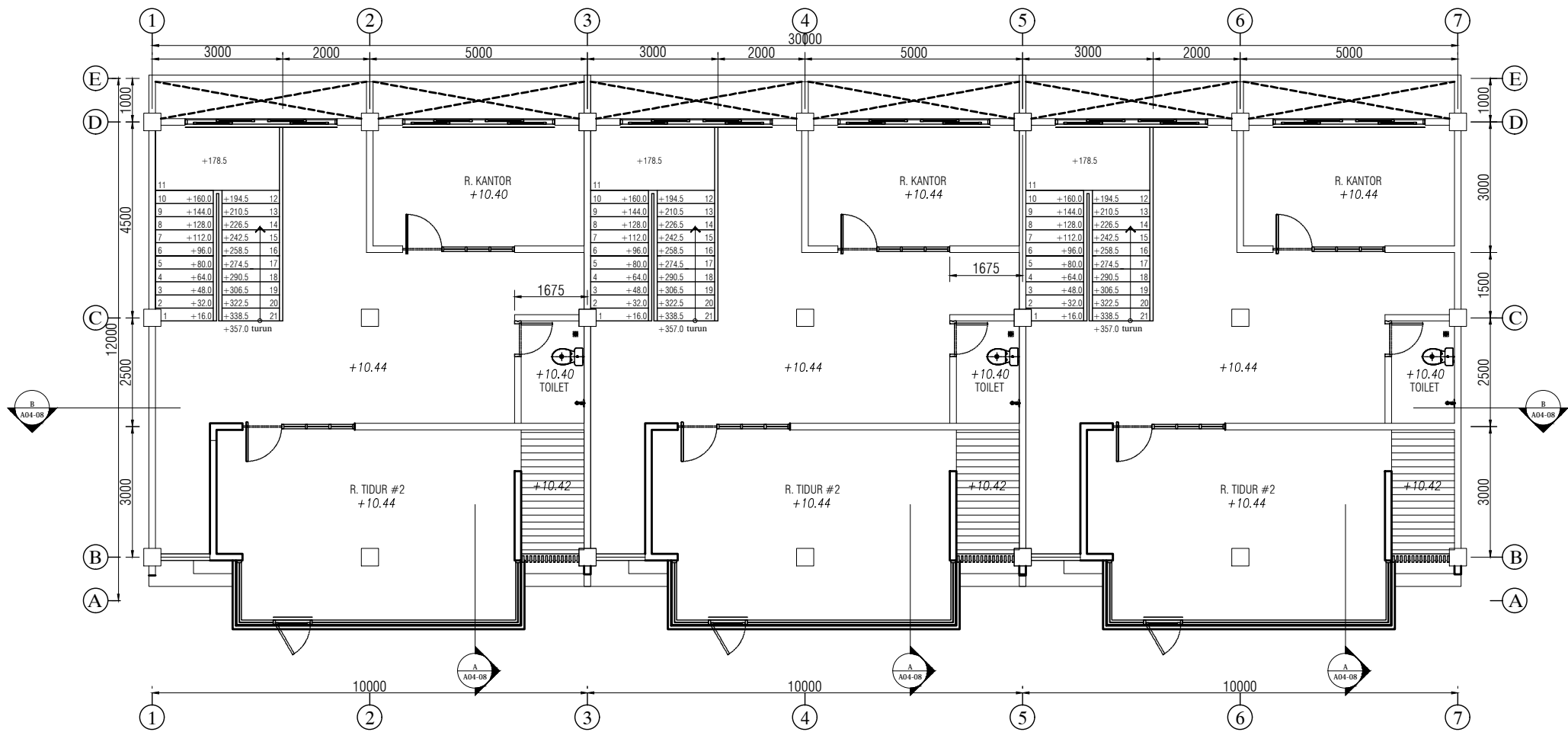
JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI 4

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
ARS-4	4	29





TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

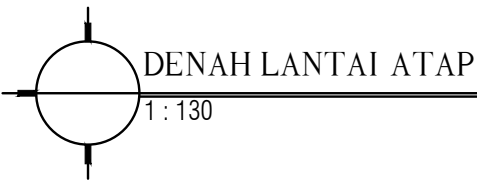
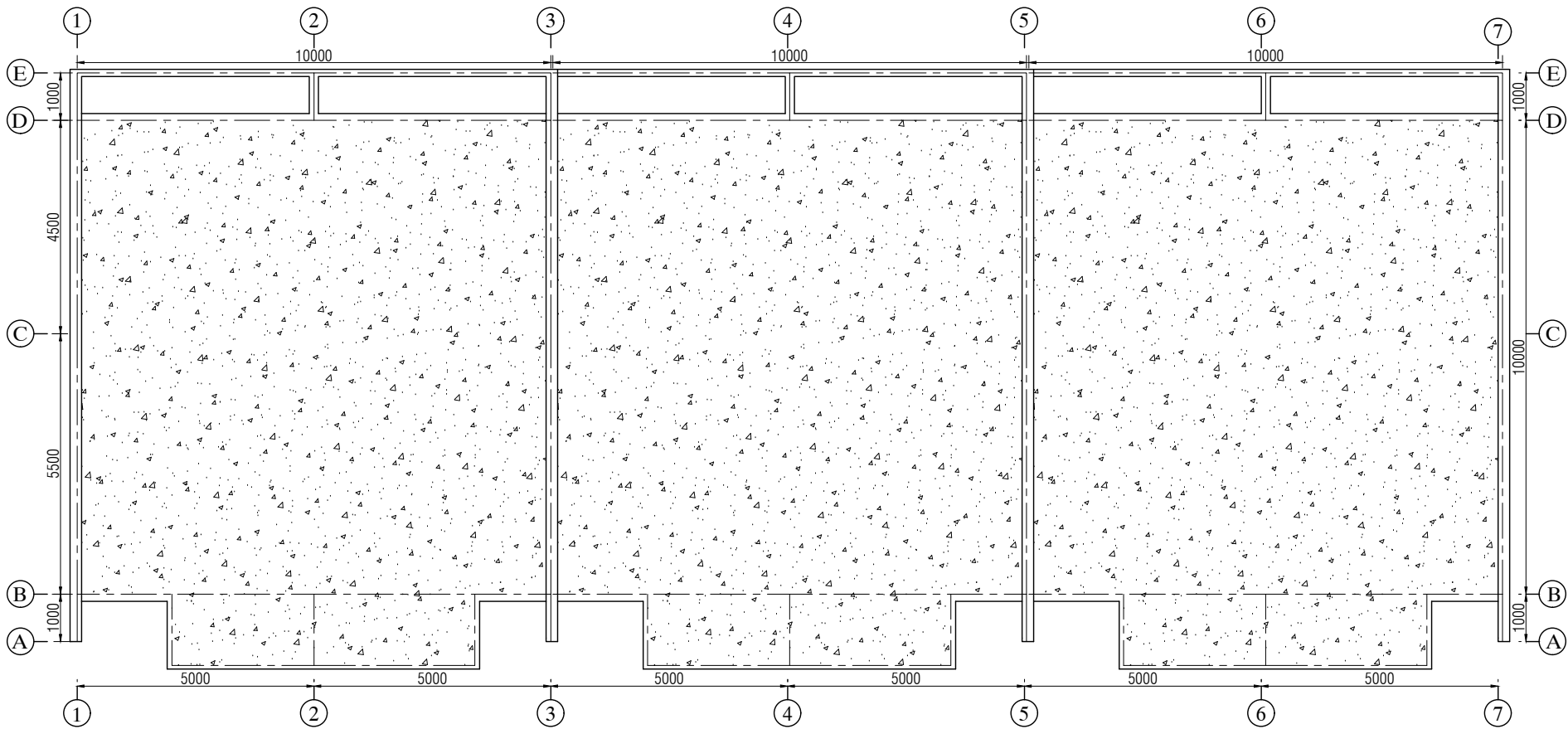
JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI ATAP

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
ARS-5	5	29





TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

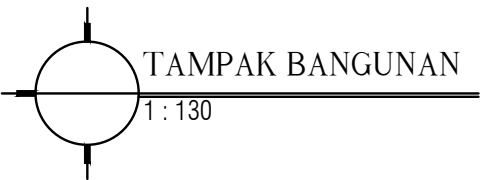
JUDUL GAMBAR

TAMPAK BANGUNAN

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
ARS-6	6	29





TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

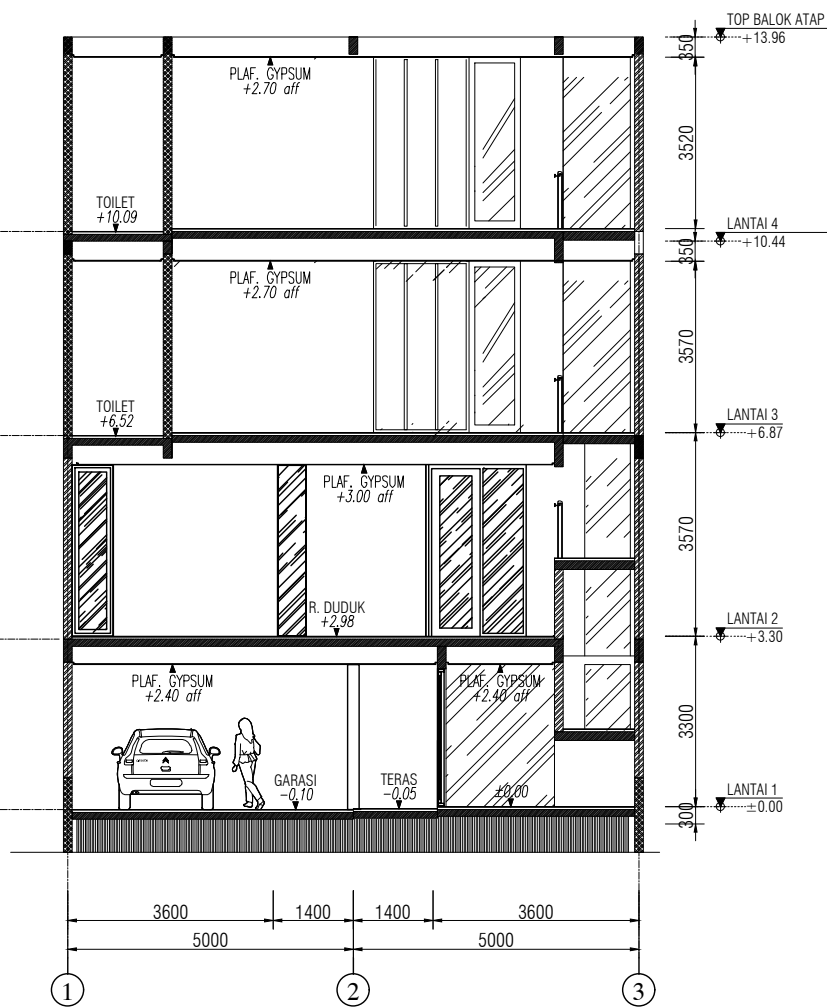
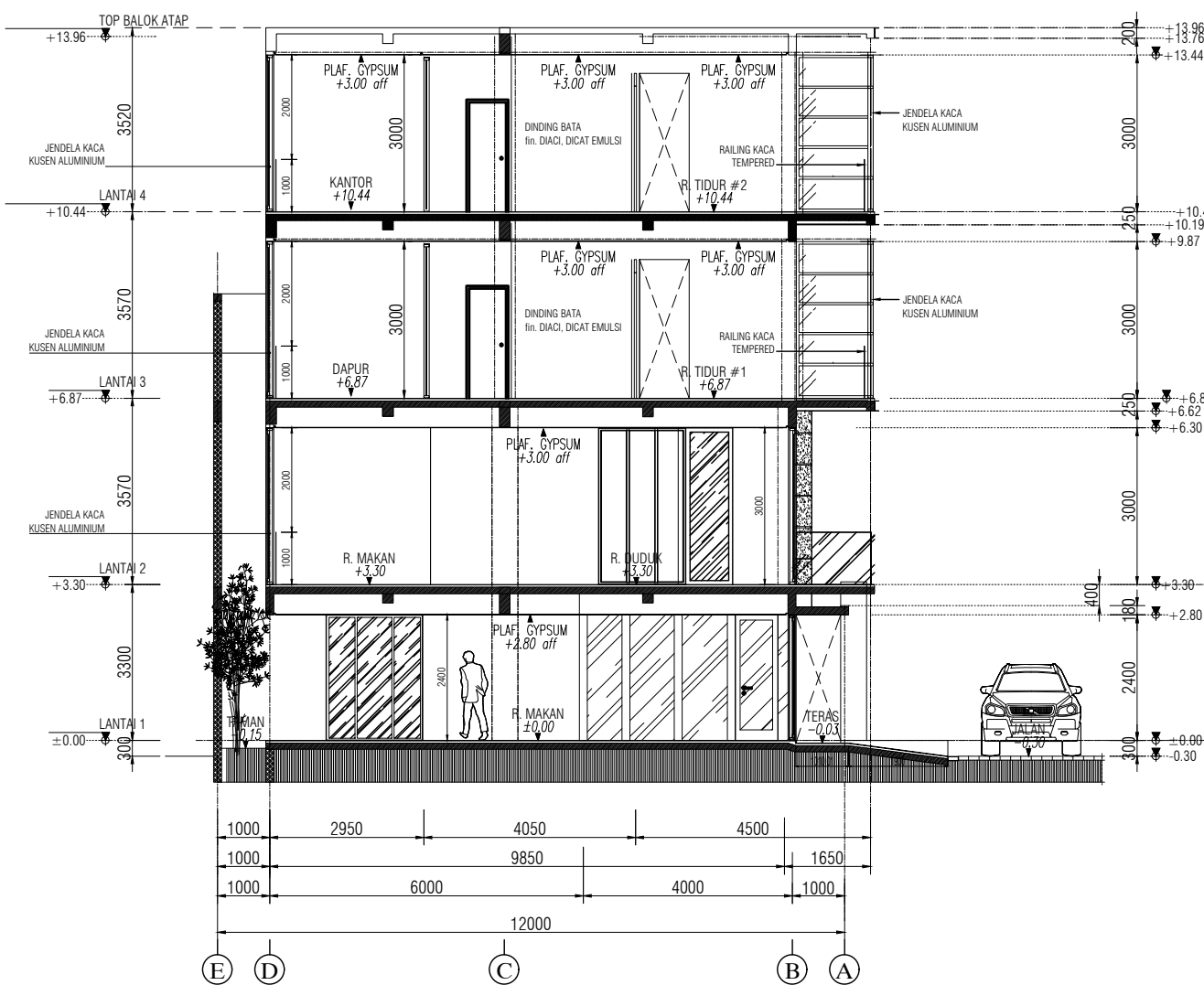
JUDUL GAMBAR

POTONGAN BANGUNAN

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
ARS-7	7	29





PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

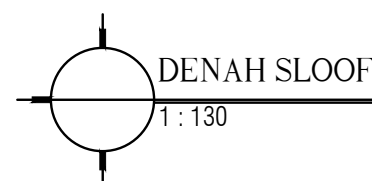
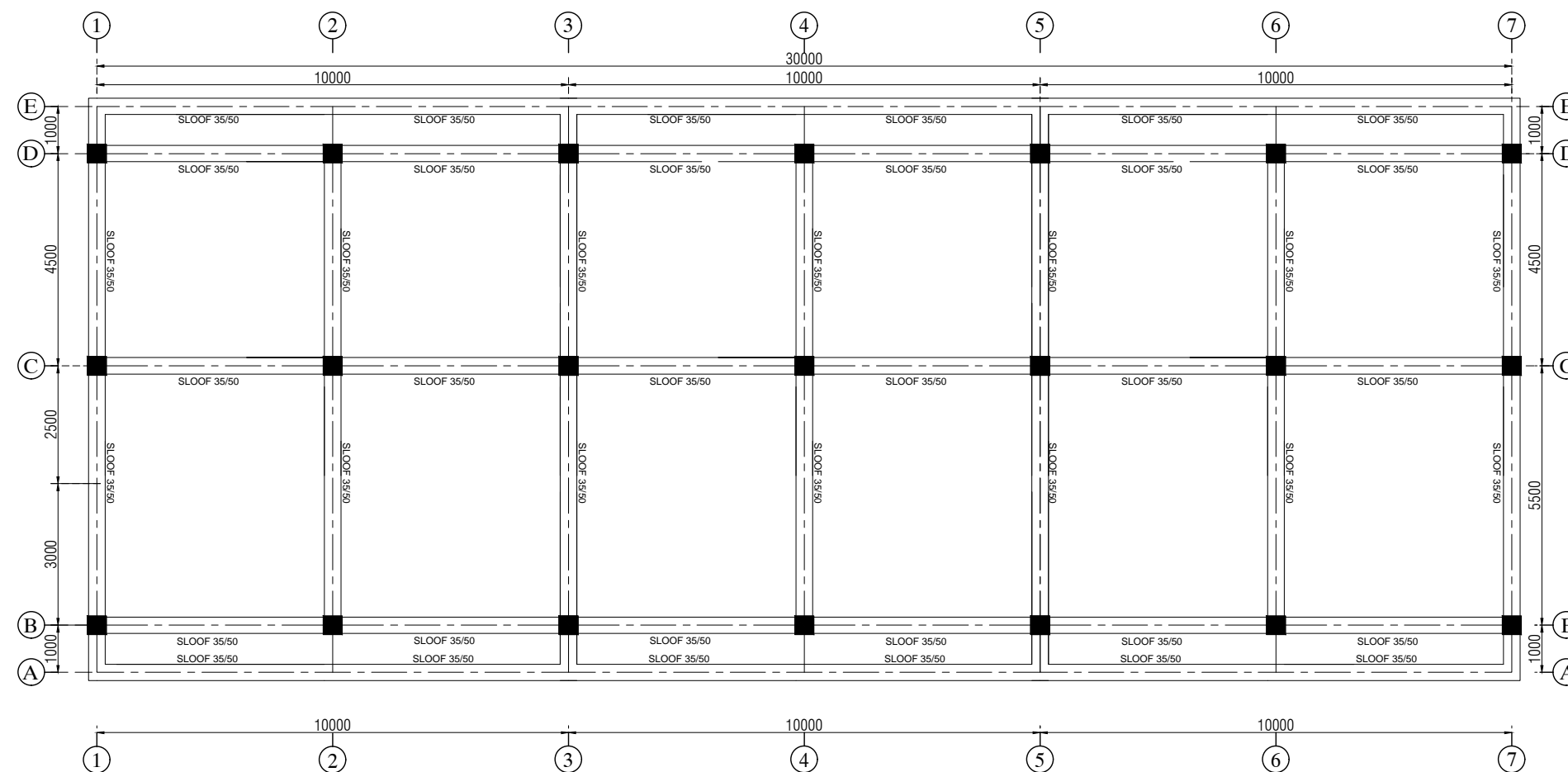
FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 1011150000147

DENAH SLOOF

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-1	8	29





TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

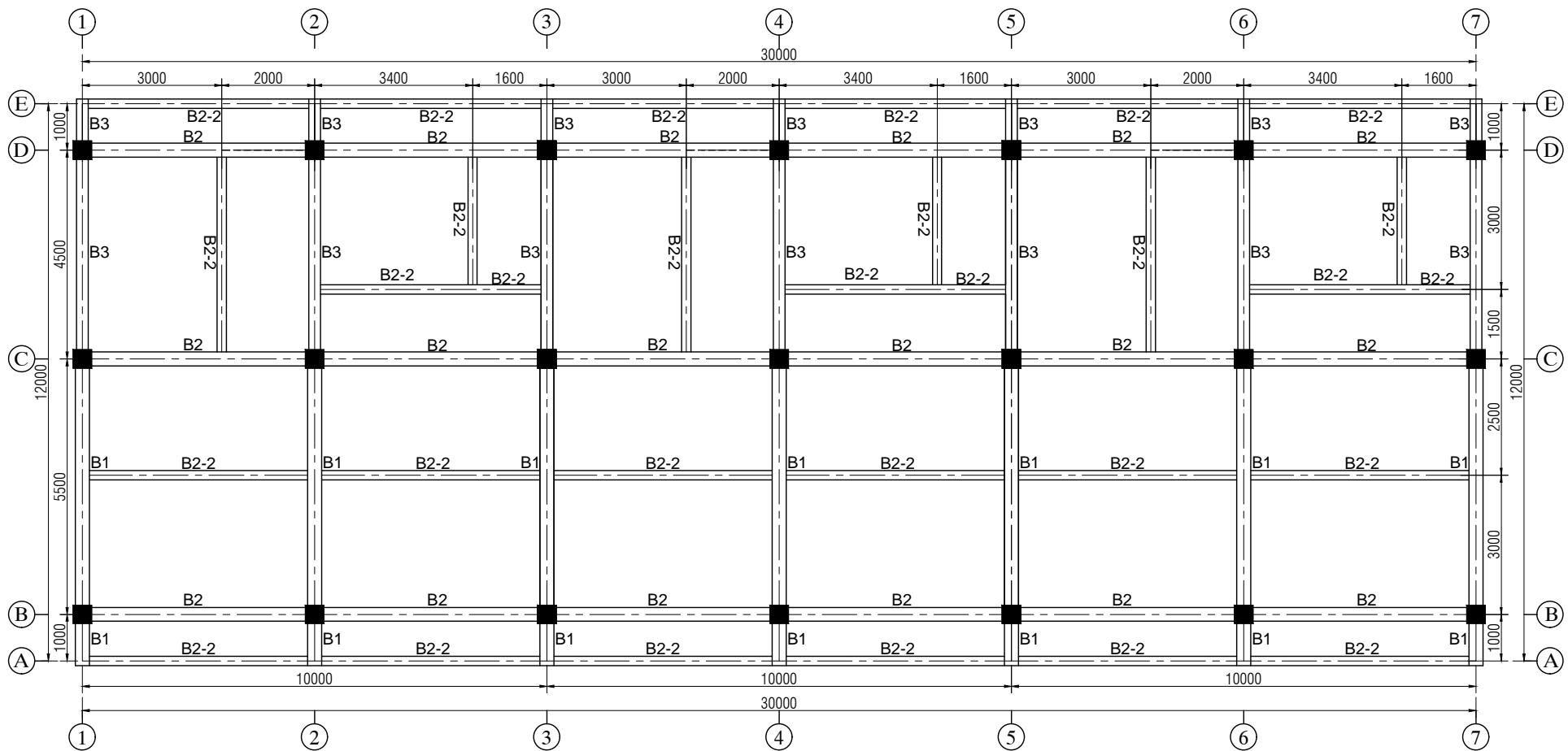
JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LANTAI 2

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-2	9	29



DENAH BALOK LANTAI 2
1 : 130



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJL, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

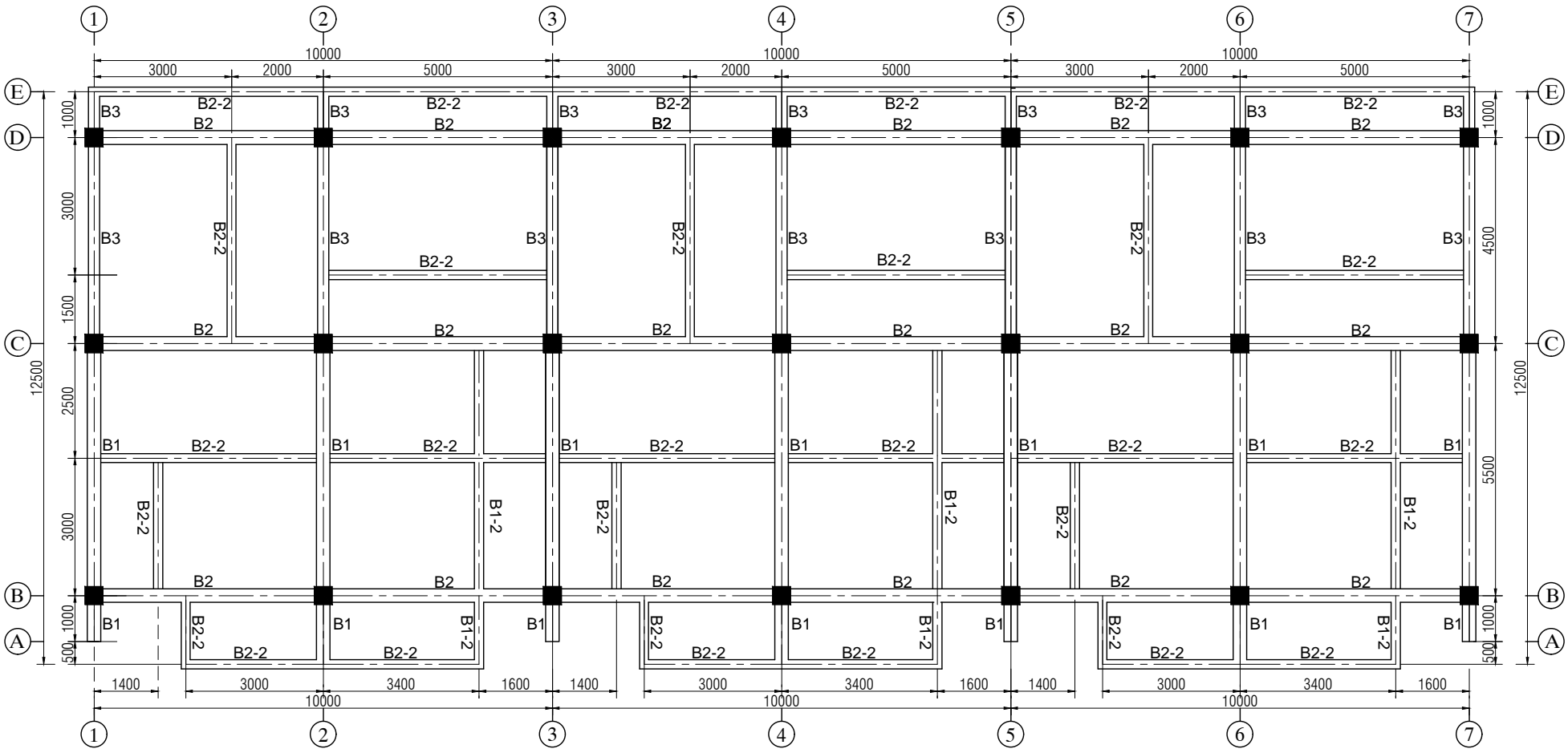
JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LANTAI 3 & 4

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-3	10	29



DENAH BALOK LANTAI 3 & 4
1 : 130



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJL, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

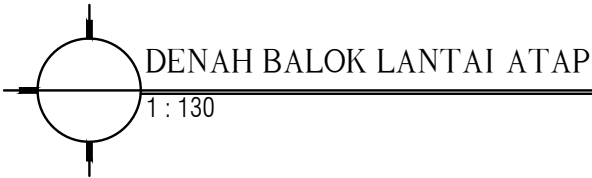
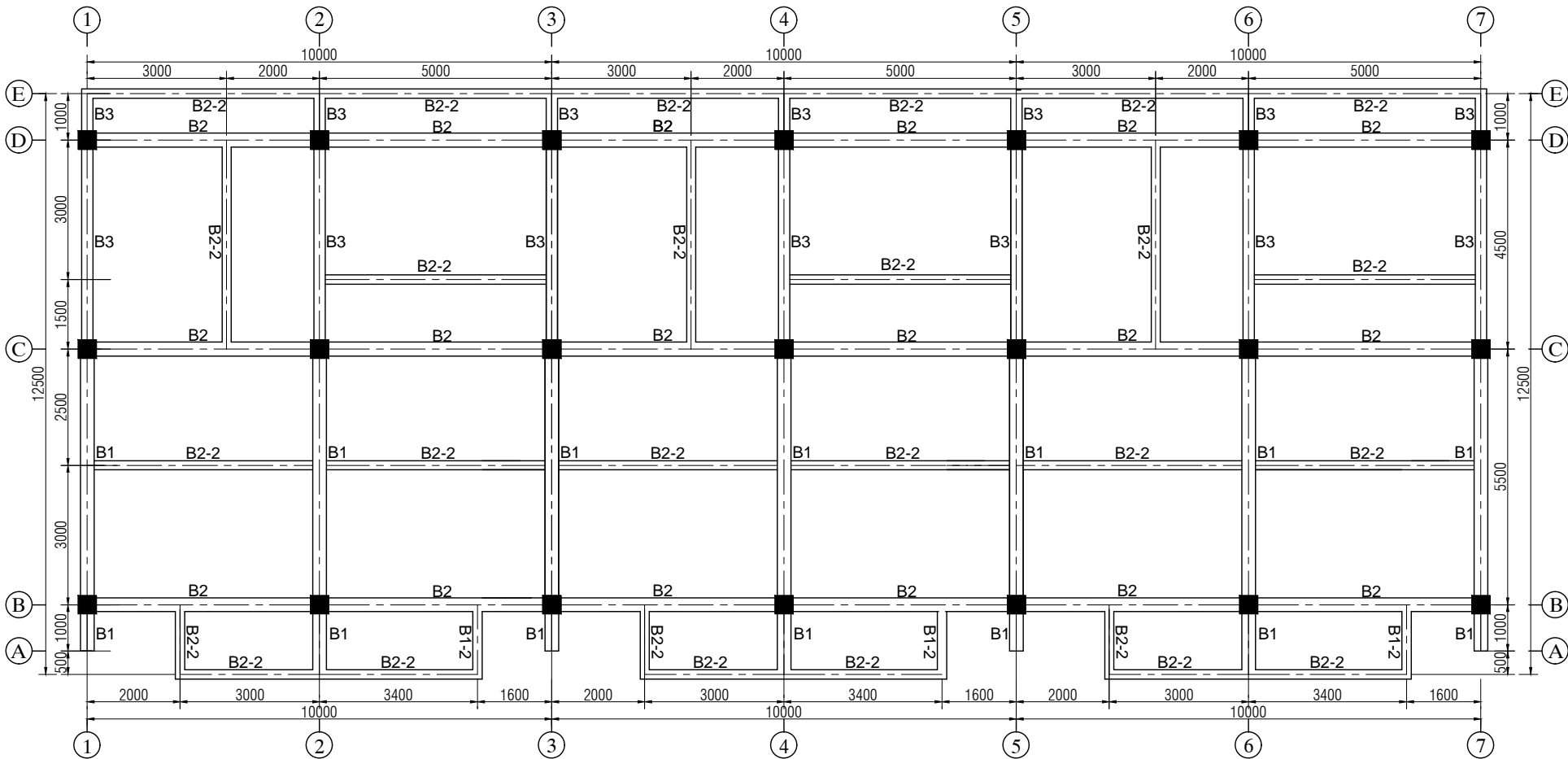
JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LANTAI ATAP

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-4	11	29





TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJL, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

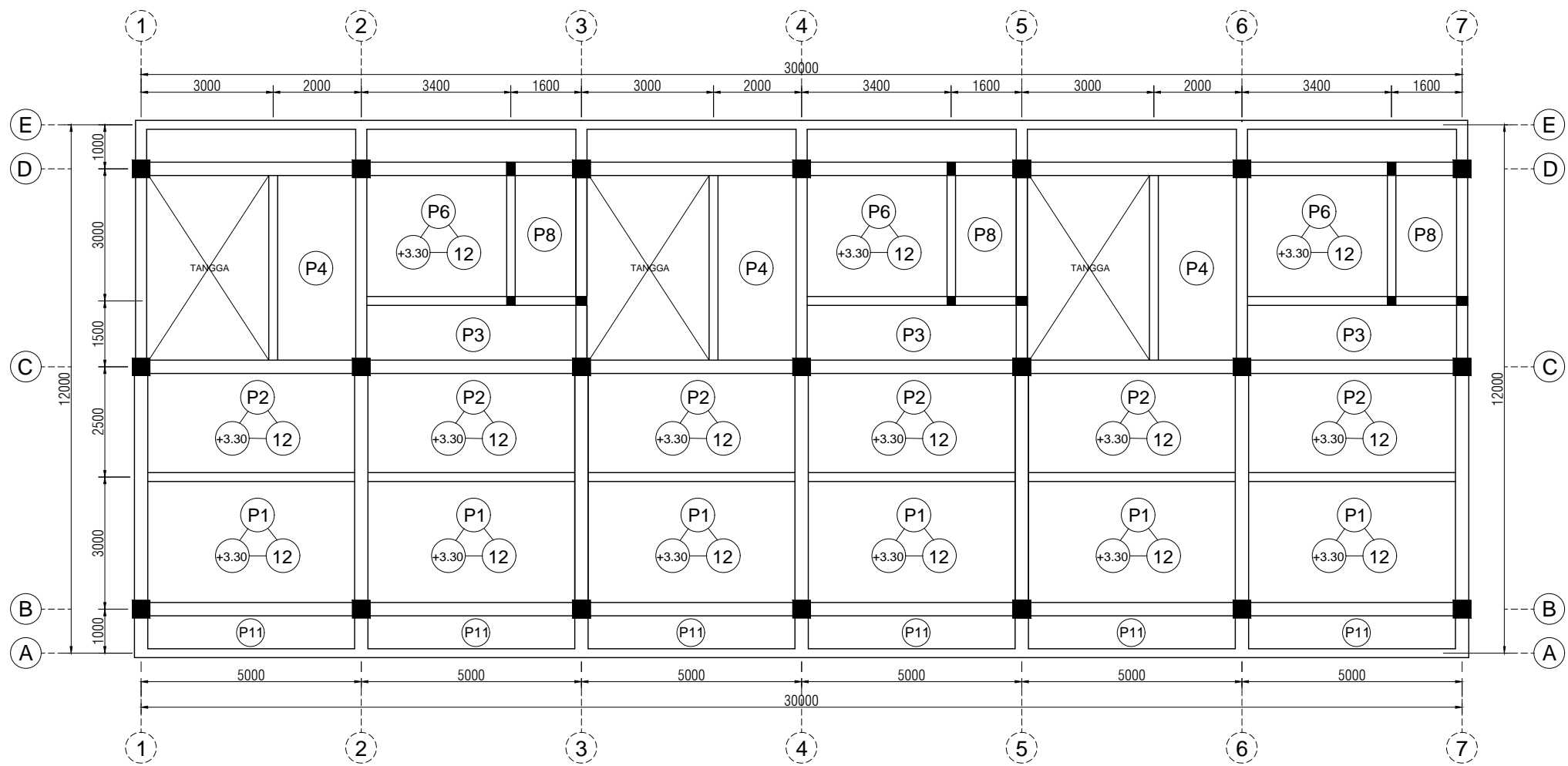
JUDUL GAMBAR

DENAH PELAT LANTAI 2

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-5	12	29



DENAH PELAT LANTAI 2
1 : 130



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJL, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

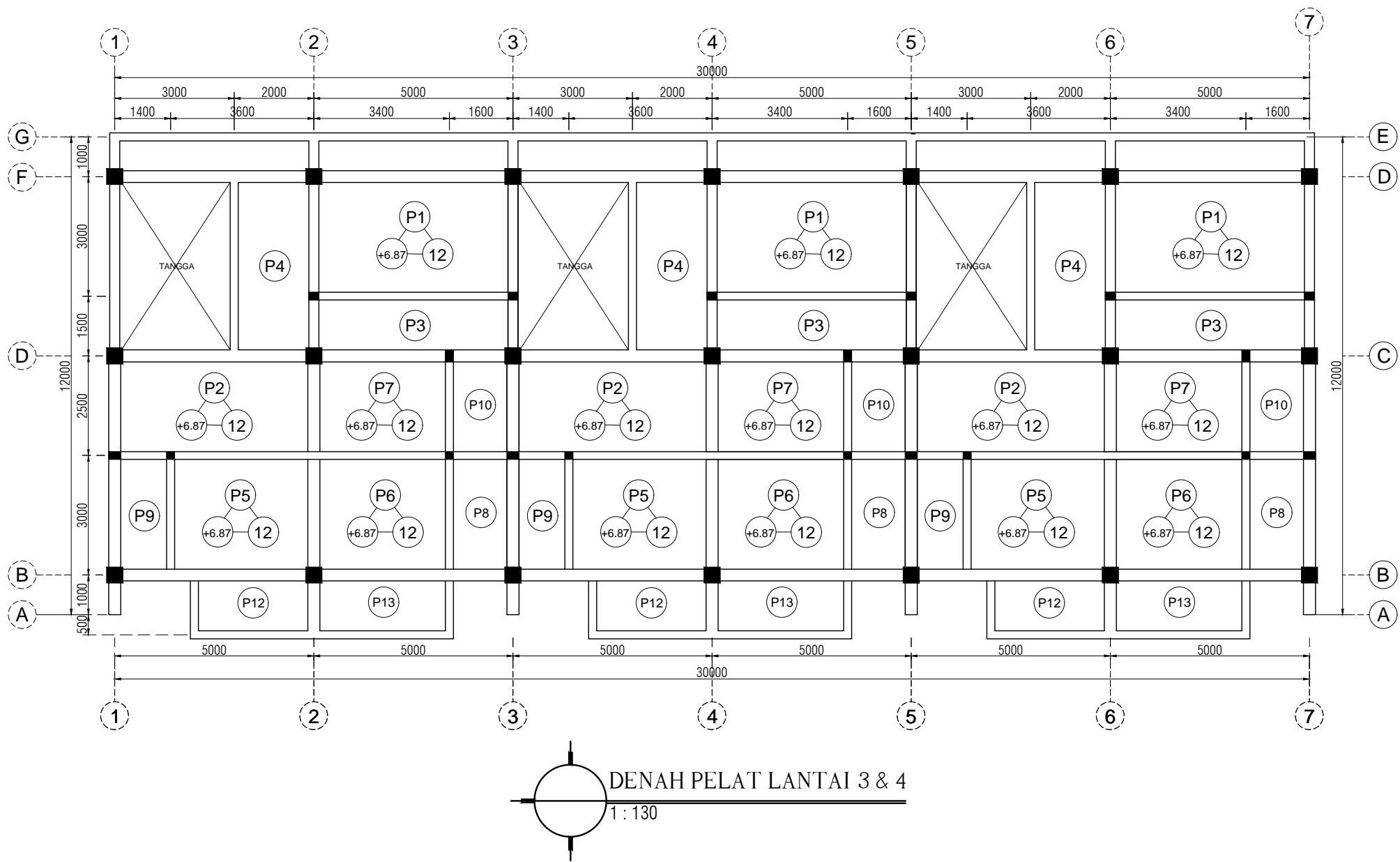
JUDUL GAMBAR

DENAH PELAT LANTAI 3 & 4

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-6	13	29





TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

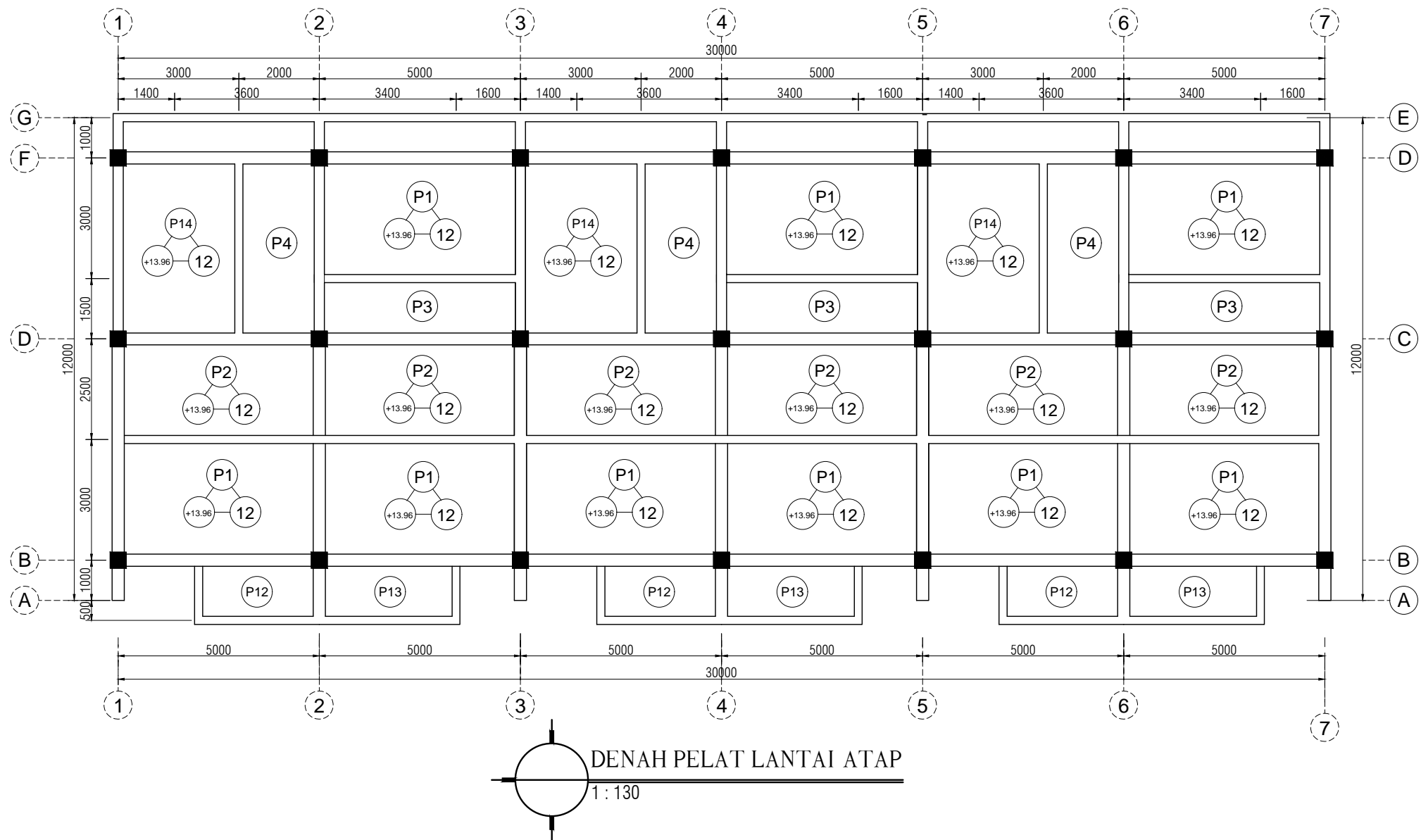
JUDUL GAMBAR

DENAH PELAT LANTAI ATAP

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-7	14	29





TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

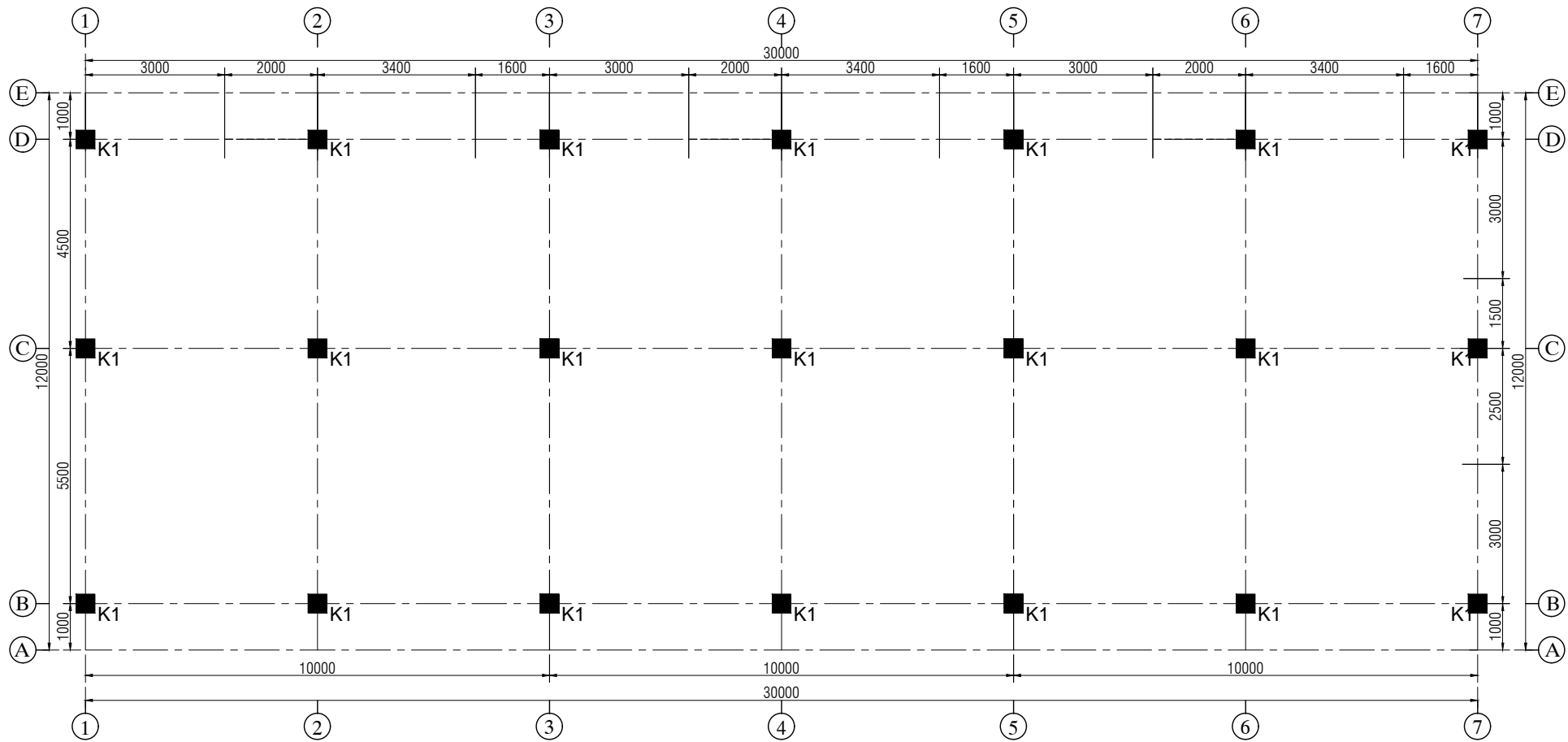
JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM
LANTAI 1- LANTAI 4

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-8	15	29



DENAH KOLOM LANTAI 1- LANTAI 4
1 : 130



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

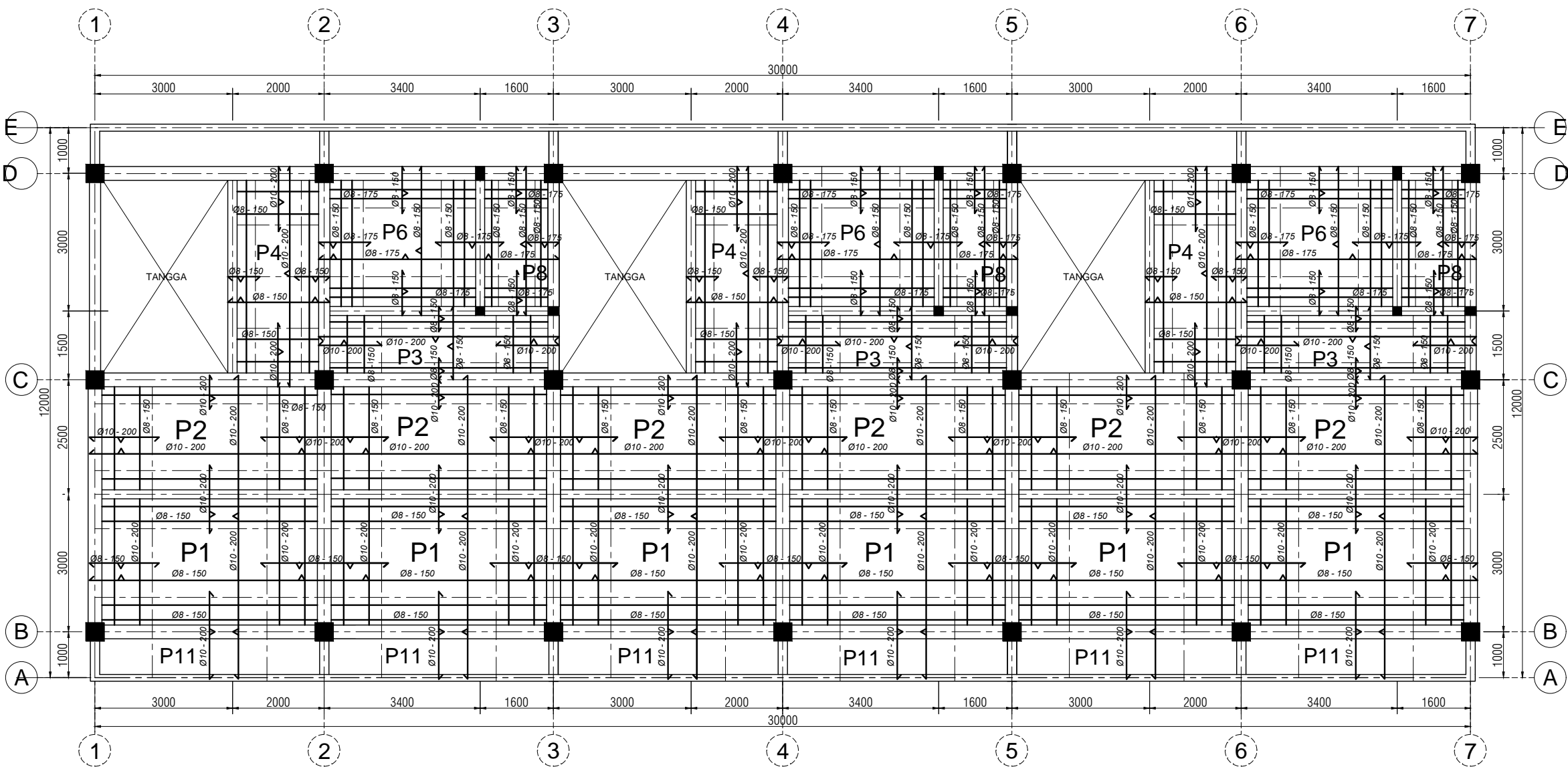
JUDUL GAMBAR

DENAH PENULANGAN PLAT
LANTAI 2

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-9	16	29



DENAH PENULANGAN PLAT LANTAI 2
1 : 100



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

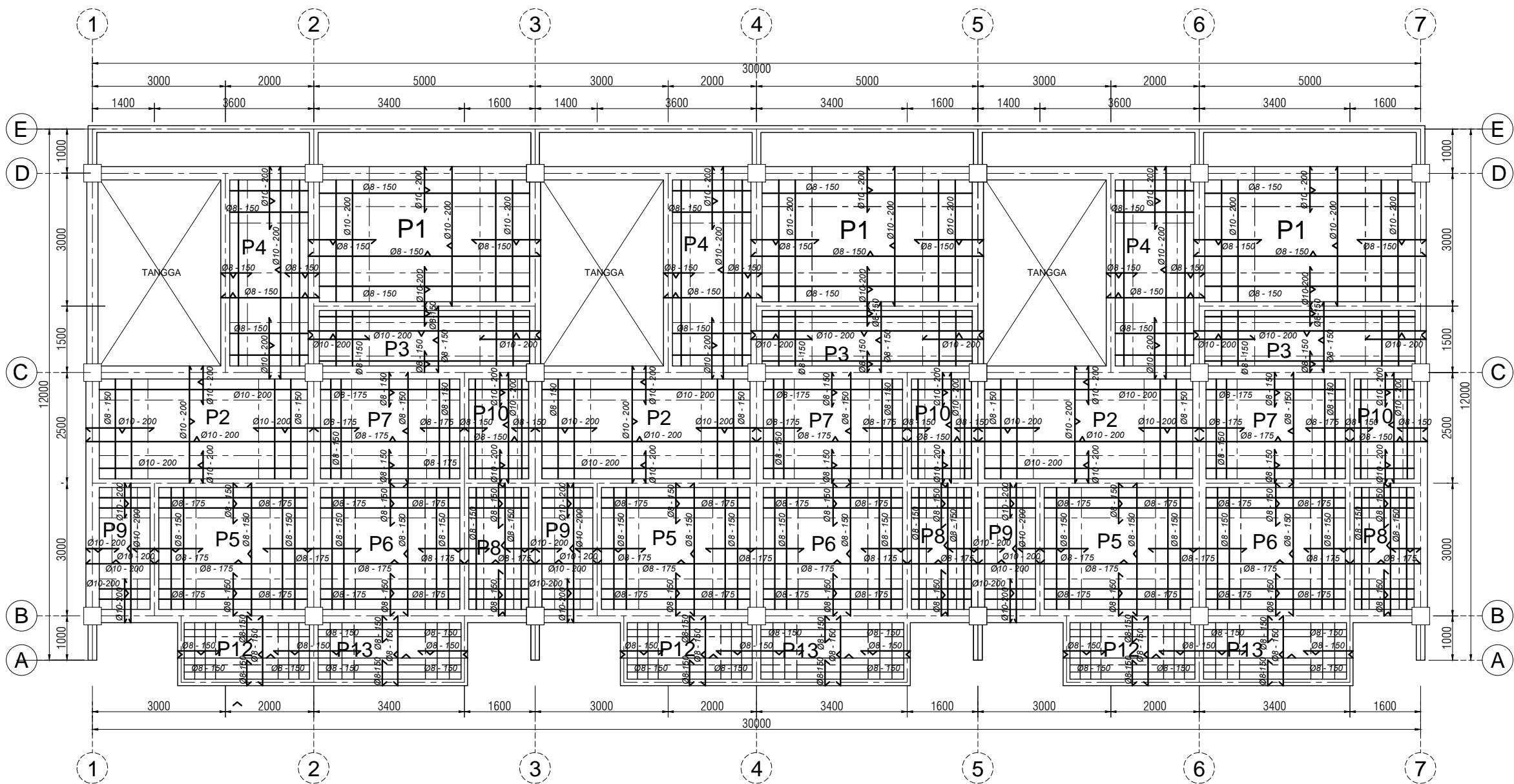
JUDUL GAMBAR

DENAH PENULANGAN PLAT
LANTAI 3 & 4

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-10	17	29



DENAH PENULANGAN PLAT LANTAI 3 & 4
1 : 100



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

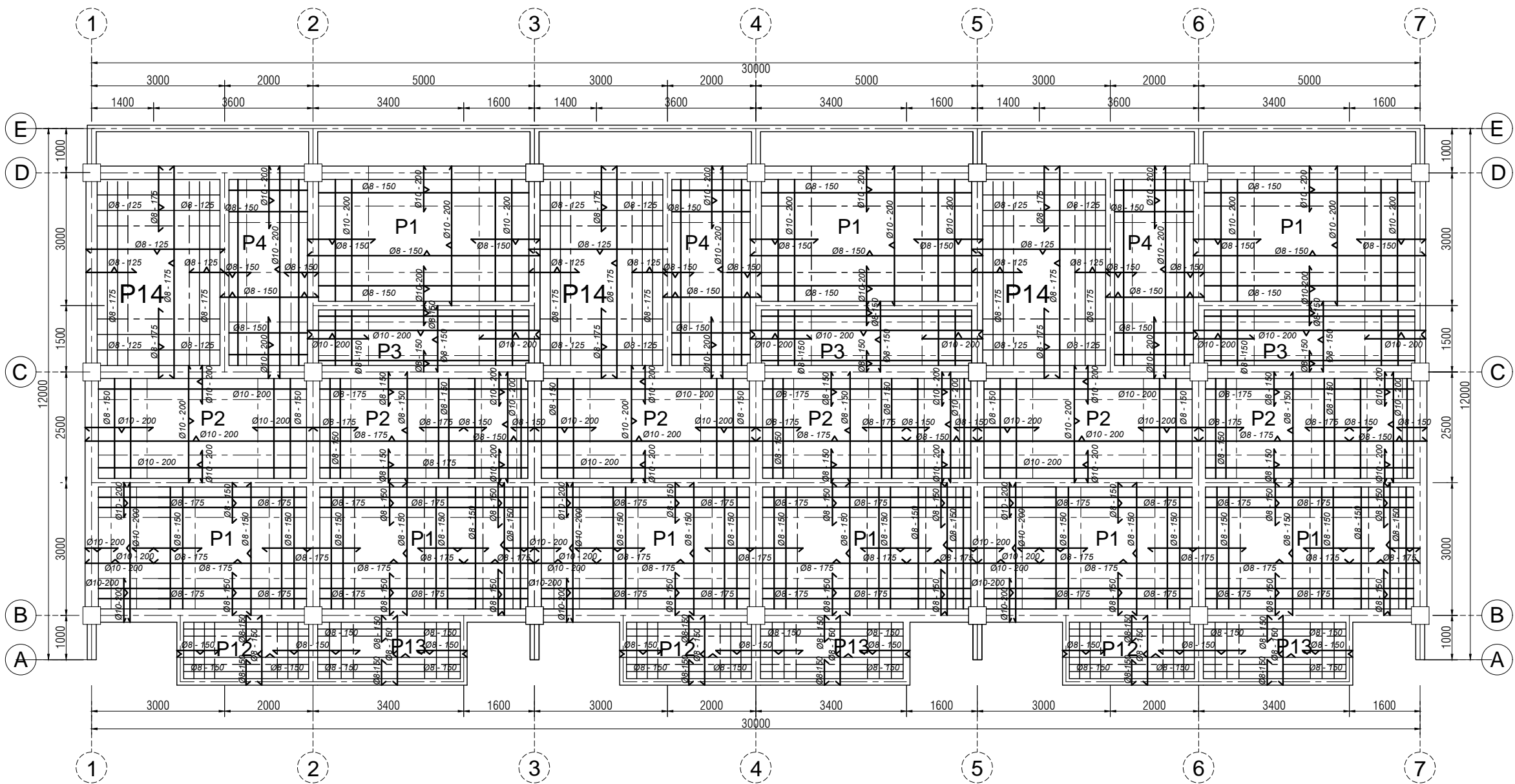
JUDUL GAMBAR

DENAH PENULANGAN PLAT
LANTAI ATAP

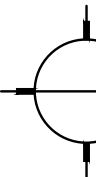
CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-11	18	29



P12



DENAH PENULANGAN PLAT LANTAI ATAP

1 : 100



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJL, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

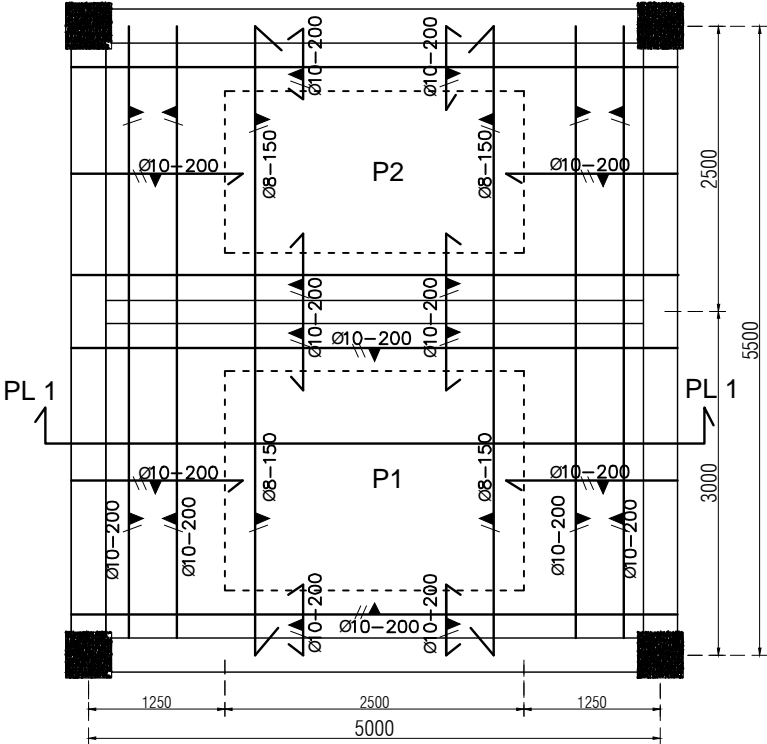
JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN PELAT

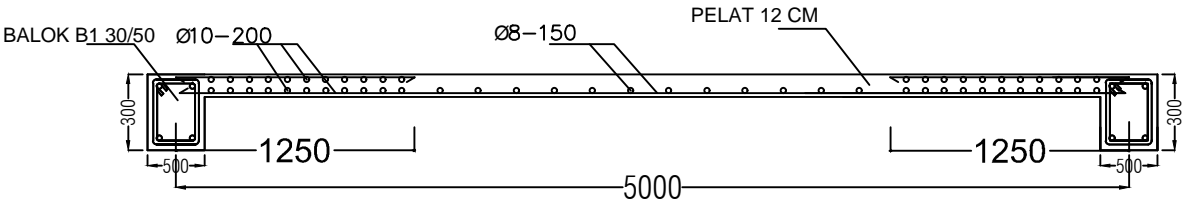
CATATAN

No	REVISI	Tanggal

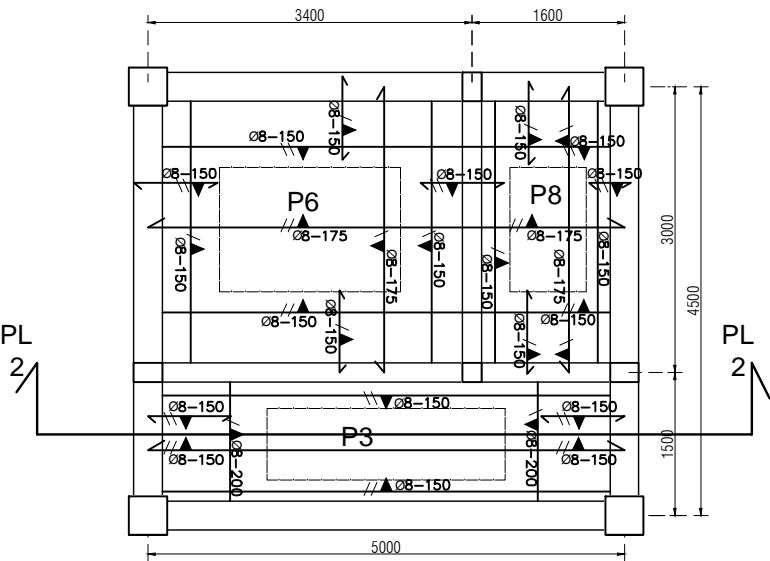
KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-12	19	29



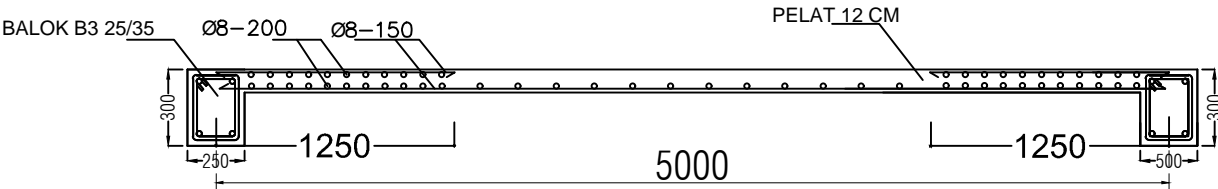
DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE 1
SKALA 1:50



POTONGAN PL 1
SKALA 1:20



DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE 2
SKALA 1:50



POTONGAN PL 2
SKALA 1:20



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

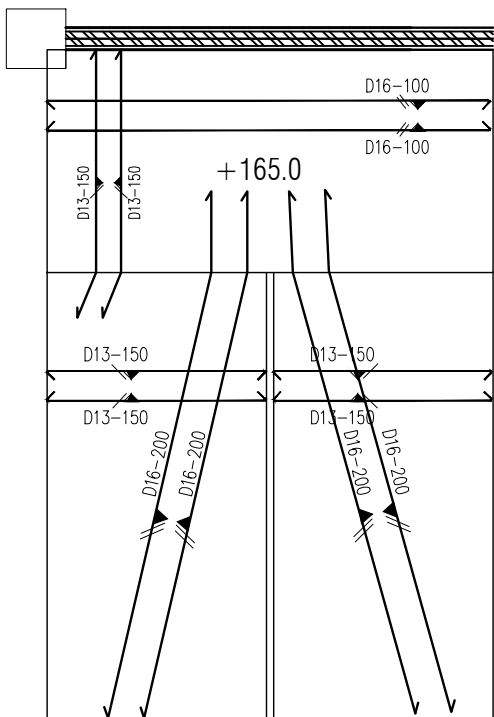
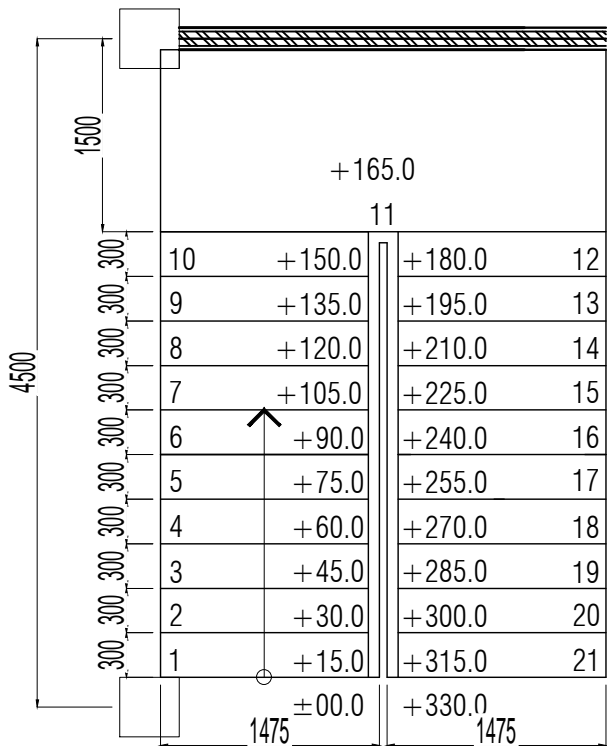
JUDUL GAMBAR

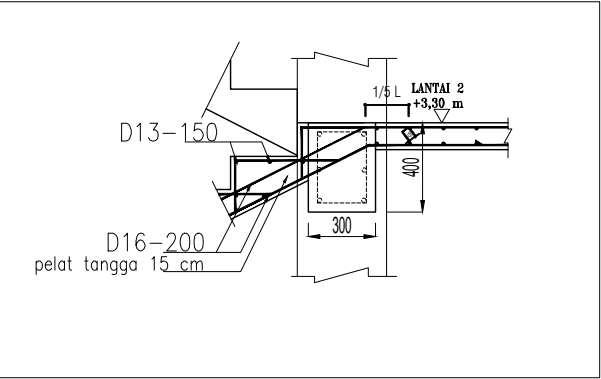
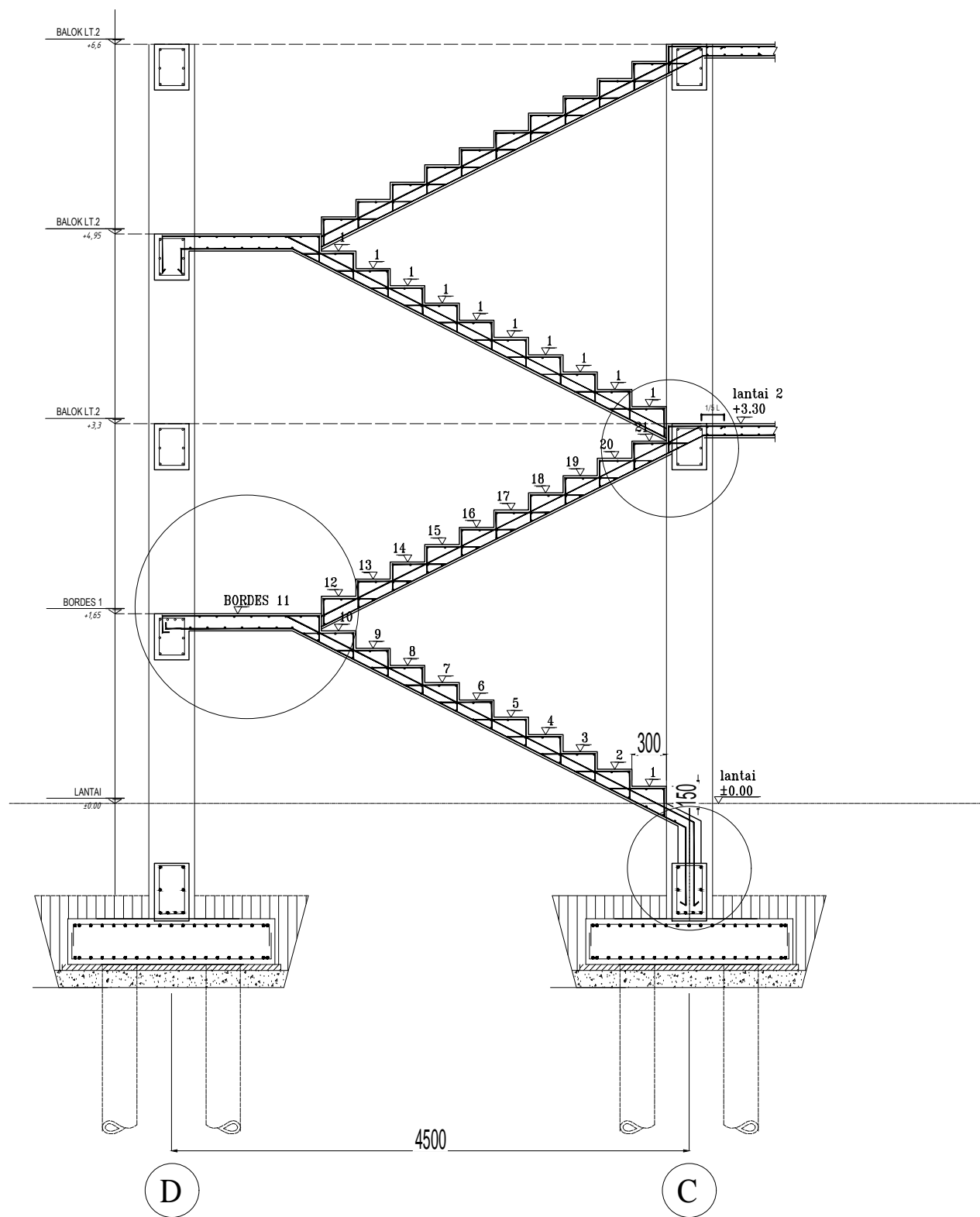
DENAH TANGGA

CATATAN

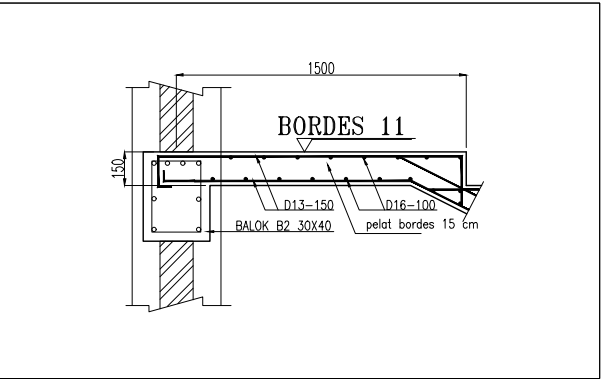
No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-13	20	29

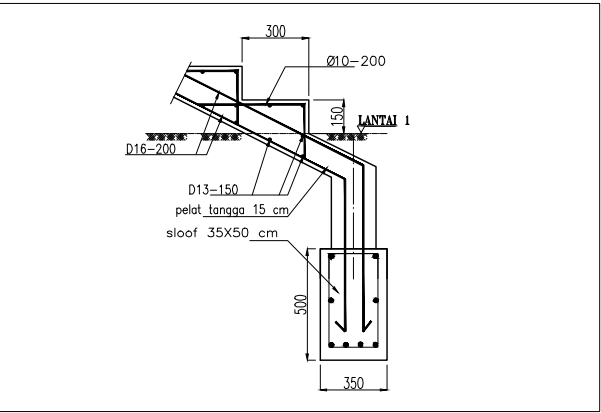




Detail 1
1: 50



Detail 2
1: 50



Detail 3
1: 50

D3 TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

JUDUL GAMBAR

POTONGAN DAN DETAIL
PENULANGAN TANGGA

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-14	21	29



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJL, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

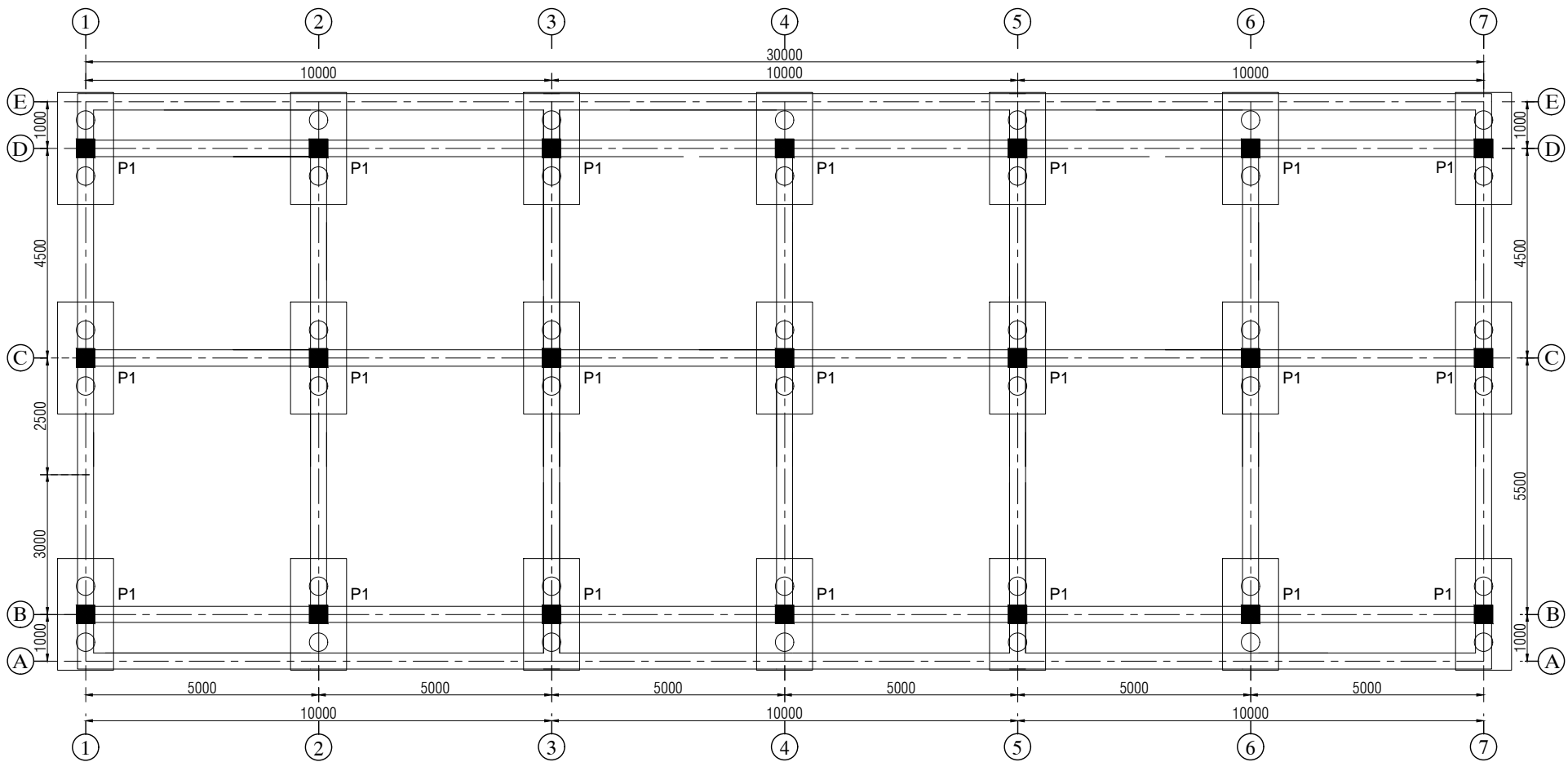
JUDUL GAMBAR

DENAH PILECAP

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-15	22	29





TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

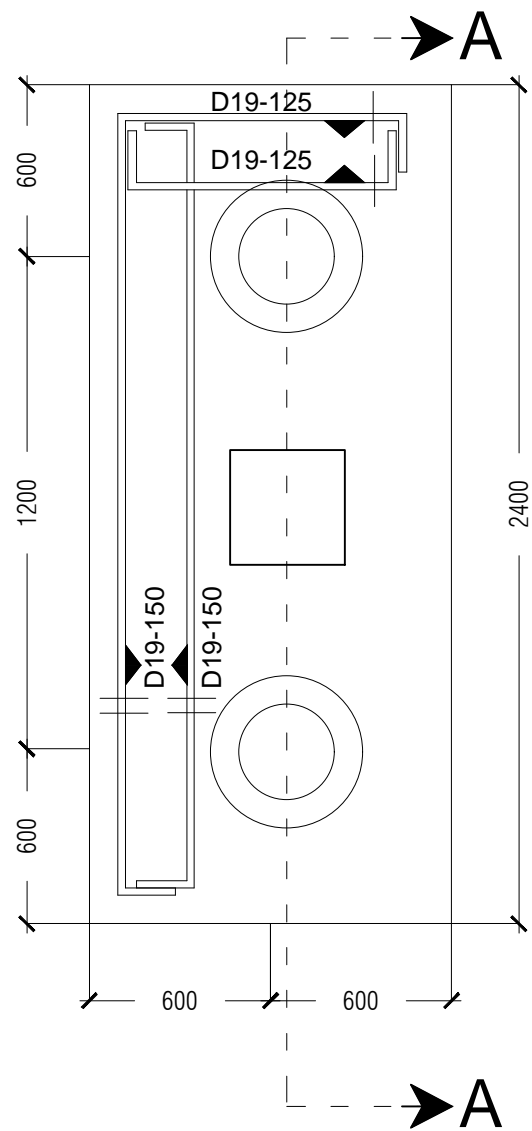
JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN PILECAP DAN
DETAIL PONDASI

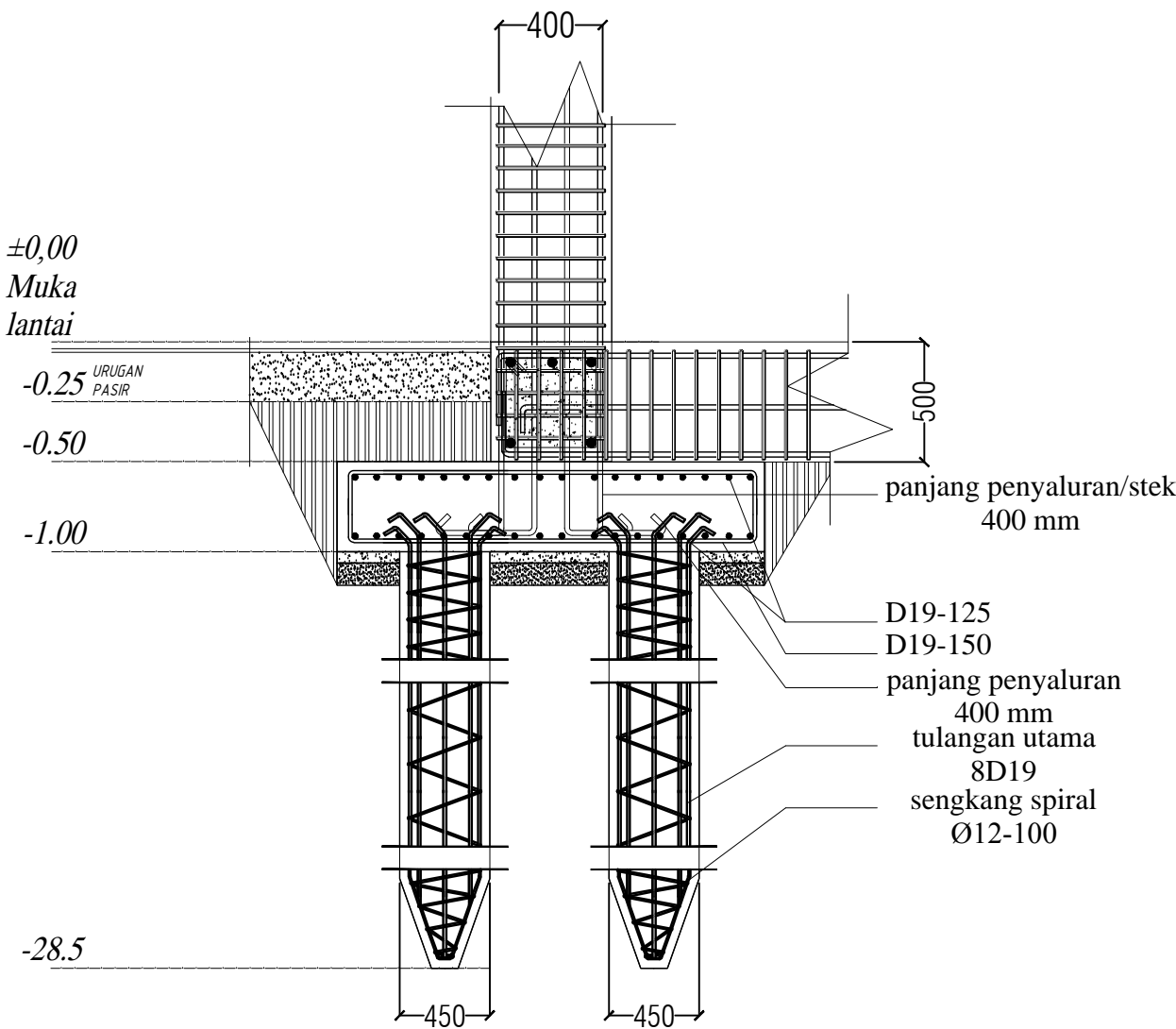
CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-16	23	29



DETAIL PENULANGAN PILECAP
SKALA 1:50



DETAIL PONDASI
SKALA 1:50



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK & KOLOM

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-17	24	29

KODE	B1		B2		B3	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN						
DIMENSI	300 x 500	300 x 500	300 x 400	300 x 400	250 x 350	250 x 350
TULANGAN ATAS	4 D 22	2 D 22	5 D 22	2 D 22	3 D 22	2 D 22
TULANGAN BAWAH	2 D 13	2 D 13	2 D 13	2 D 13	2 D 13	2 D 13
TULANGAN SAMPING	2 D 22	2 D 22	2 D 22	3 D 22	2 D 22	2 D 22
SENGKANG	Ø12-80	Ø12-150	Ø12-65	Ø12-125	Ø12-70	Ø12-125

KODE	B2-2		B1b		B3b	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN						
DIMENSI	200 x 250	200 x 250	-	-	-	-
TULANGAN ATAS	2 D 19	2 D 19	3 D 19	2 D 19	2 D 19	2 D 19
TULANGAN BAWAH	-	-	2 D 13	2 D 13	2 D 13	2 D 13
TULANGAN SAMPING	2 D 19	2 D 19	2 D 19	2 D 19	2 D 19	2 D 19
SENGKANG	Ø10-50	Ø10-100	Ø12-70	Ø12-150	Ø12-50	Ø12-150

KODE	K1	SLOOF	
POSISI	KOLOM	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN			
DIMENSI	400 x 400	300 x 500	300 x 500
TULANGAN ATAS	12 D 19	3 D 19	3 D 19
TULANGAN BAWAH	-	2 D 13	2 D 13
TULANGAN SAMPING	-	3 D 19	3 D 19
SENGKANG	Ø10-150	Ø12-80	Ø12-150



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

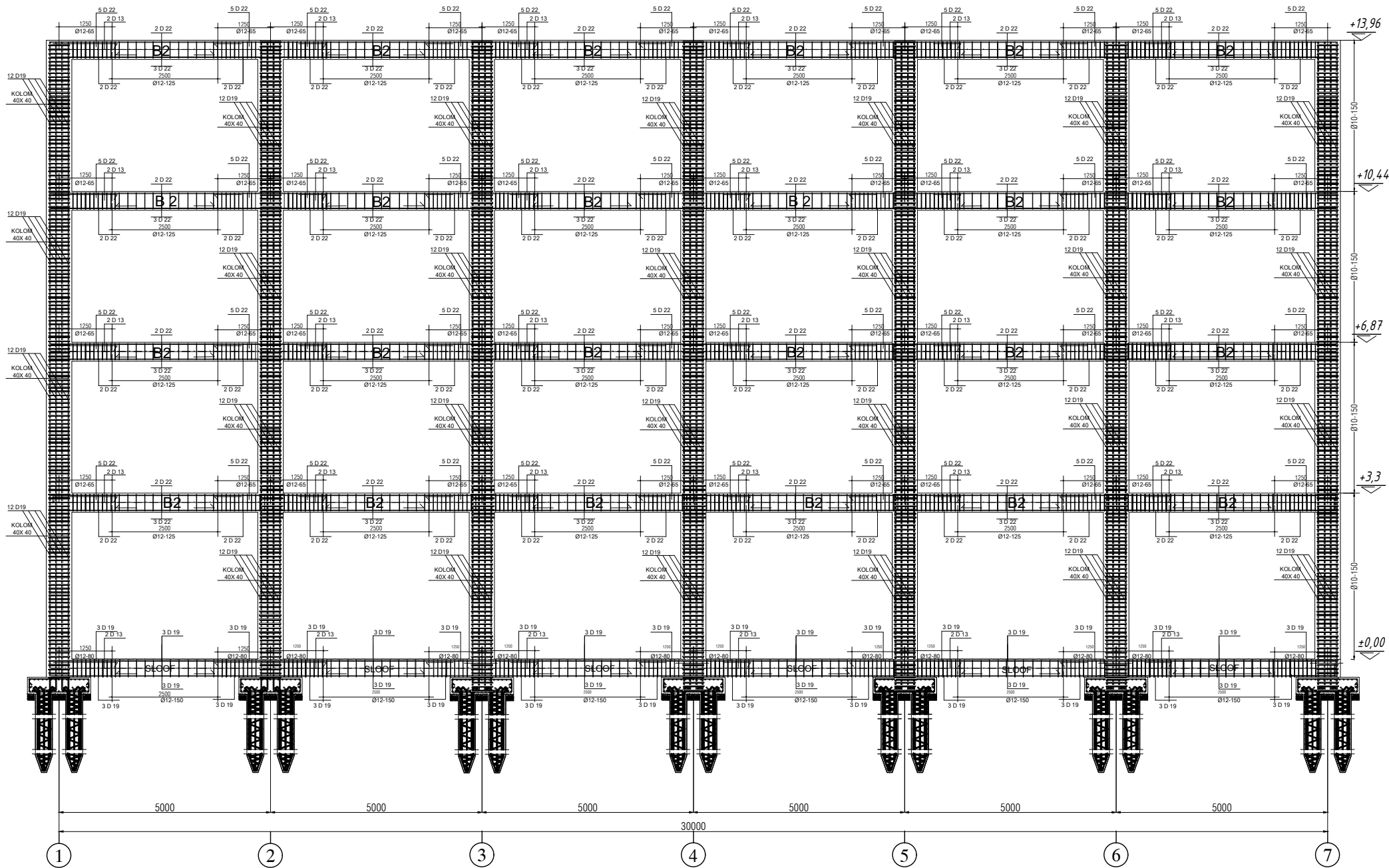
JUDUL GAMBAR

PORTAL MEMANJANG

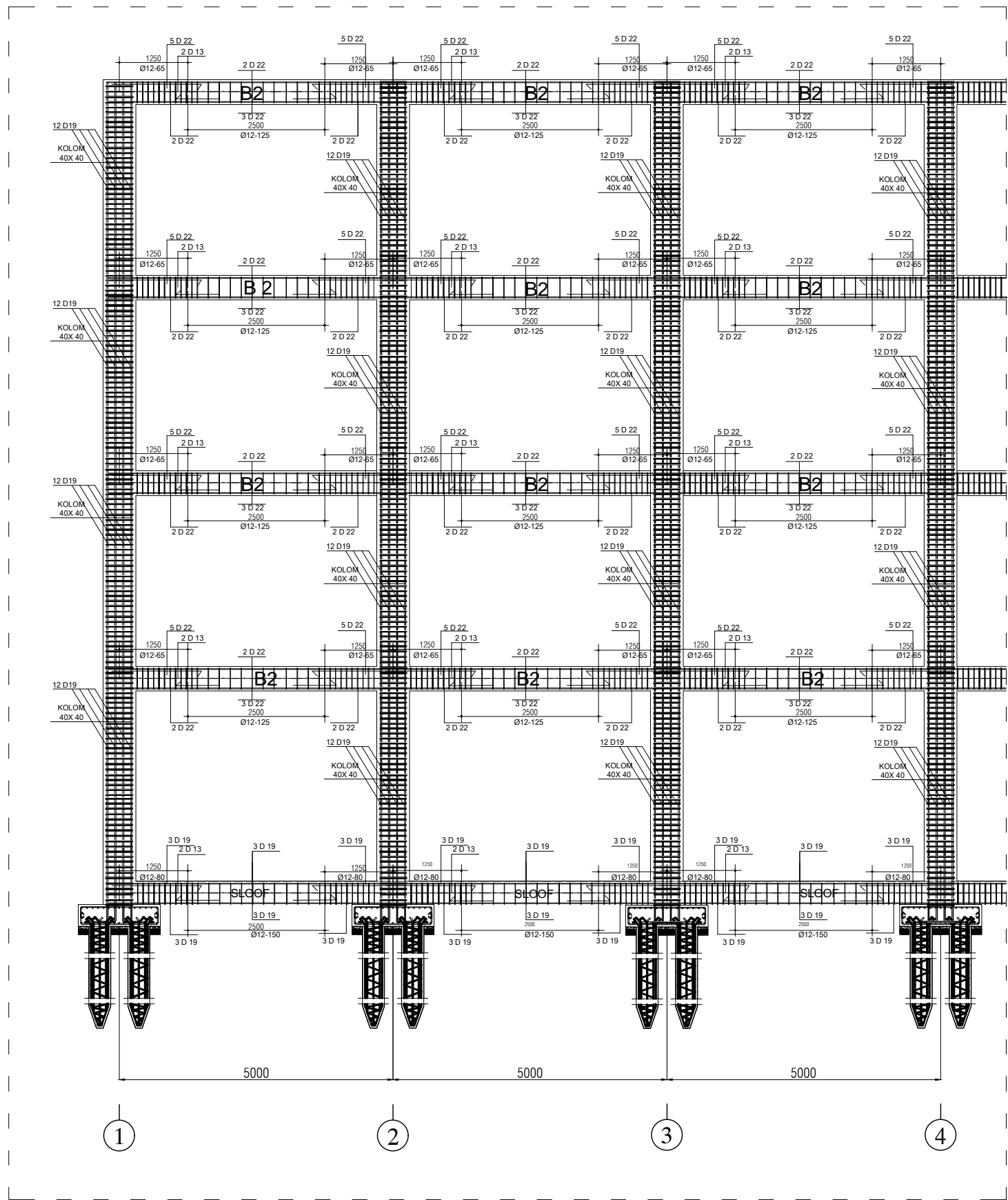
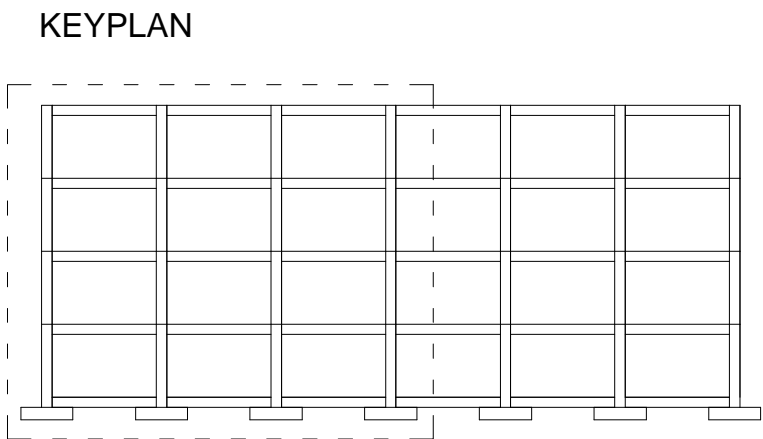
CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-18	25	29



PORTAL MEMANJANG AS C
SKALA 1:150



DETAIL PORTAL MEMANJANG AS C-1
SKALA 1:100

D3 TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

JUDUL GAMBAR

DETAIL PORTAL MEMANJANG
AS C-1

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-19	26	29



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

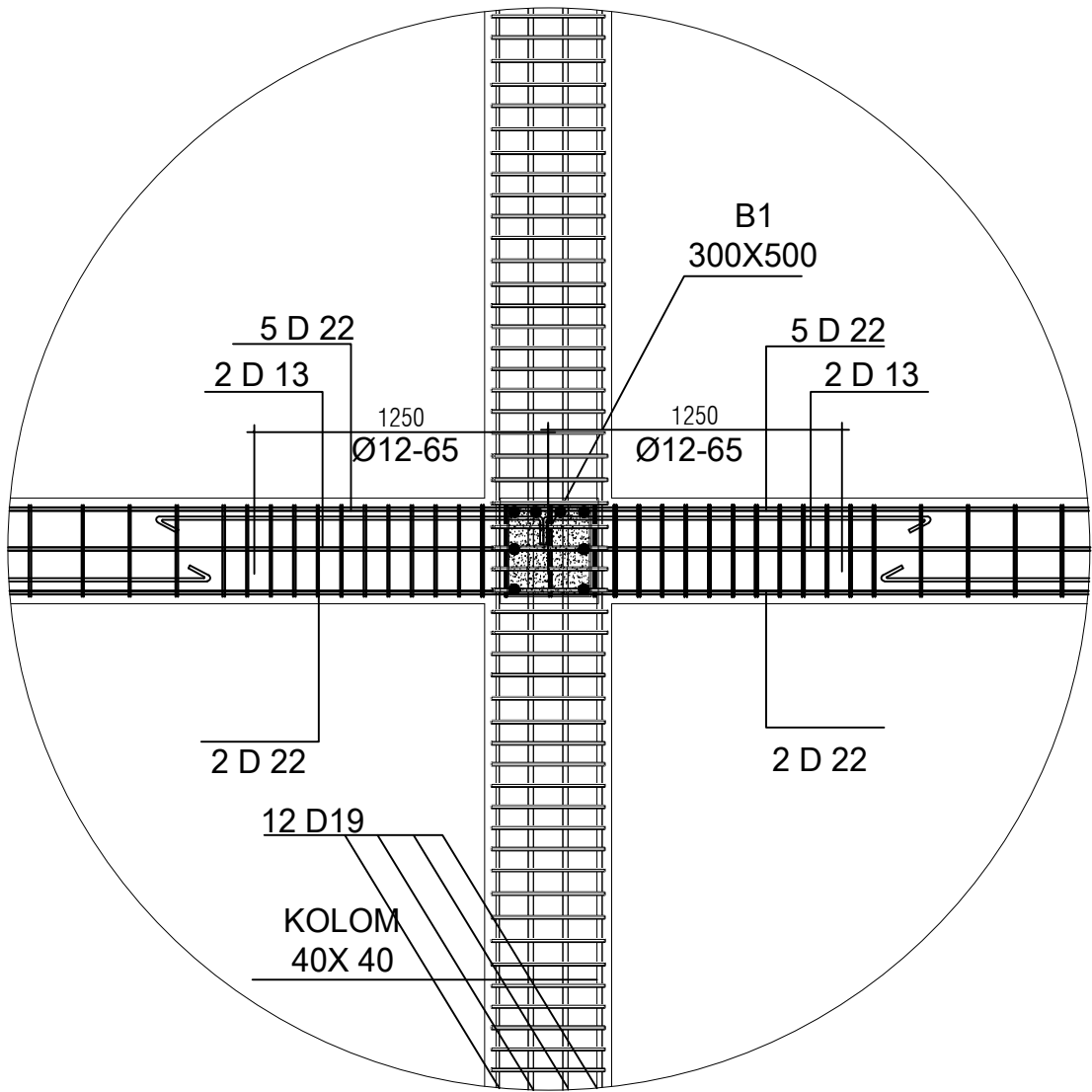
JUDUL GAMBAR

DETAIL PORTAL MEMANJANG
AS C-2

CATATAN

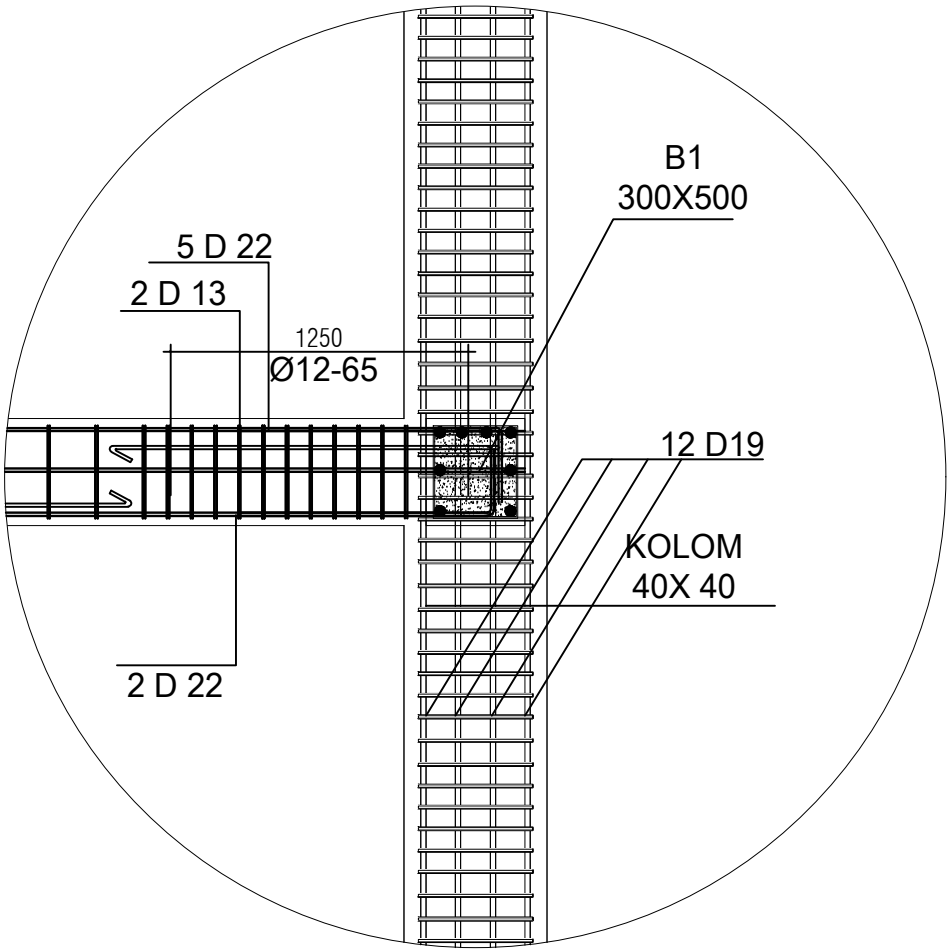
No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-20	27	29



DETAIL 1
SKALA 1:50

DETAIL PORTAL MEMANJANG AS C-2
SKALA 1:50



DETAIL 2
SKALA 1:50



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

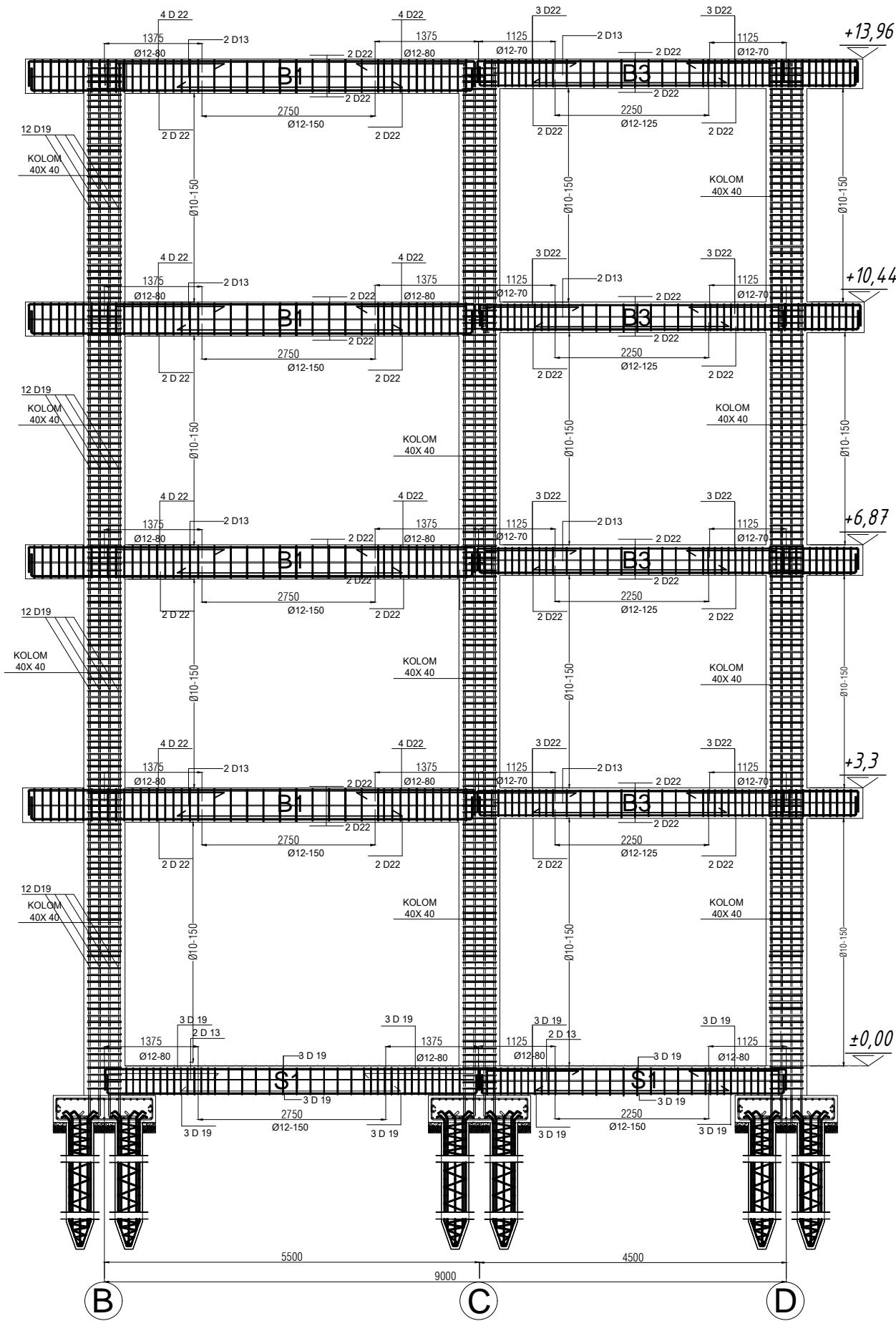
JUDUL GAMBAR

PORTAL MELINTANG AS 6

CATATAN

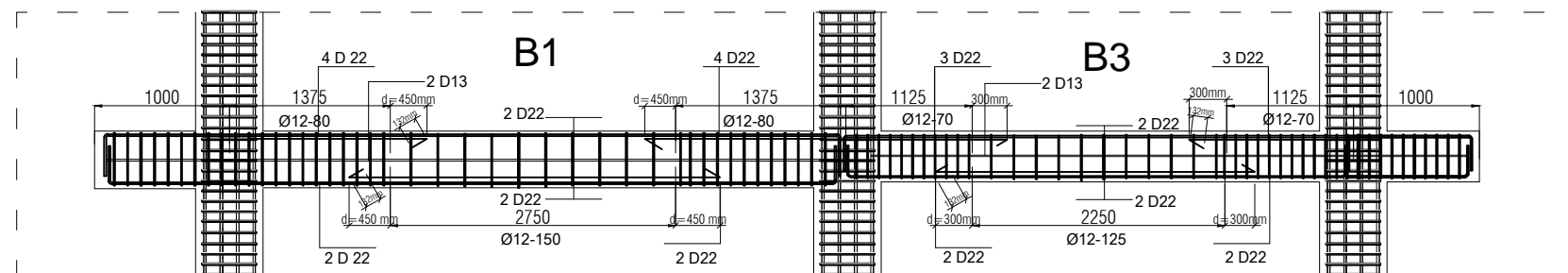
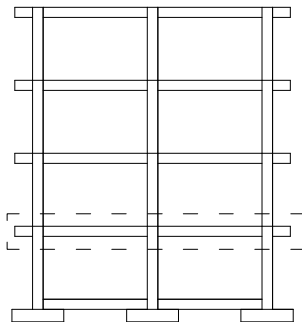
No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-21	28	29

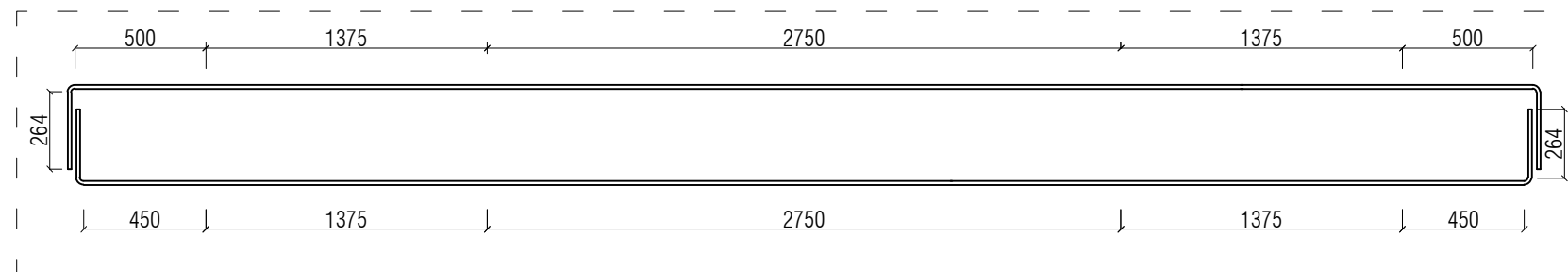


PORTAL MELINTANG AS 6
SKALA 1:150

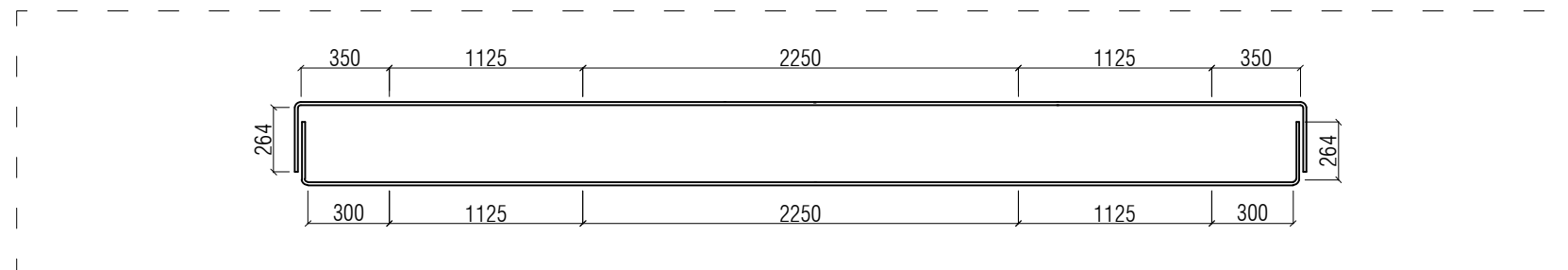
KEYPLAN



DETAIL PORTAL MELINTANG AS 6-1
SKALA 1:100



PANJANG PENYALURAN BALOK B1
SKALA 1:70



PANJANG PENYALURAN BALOK B3
SKALA 1:70



D3 TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR
BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DENGAN
METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYU AJI, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

FARIHA DWI NOVAYANTI
NRP. 10111500000103

BINTANG AYU ARTYASARI
NRP. 10111500000147

JUDUL GAMBAR

DETAIL PORTAL MELINTANG AS 6-1

CATATAN

No	REVISI	Tanggal

KODE GAMBAR	NOMER GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
STR-22	29	29